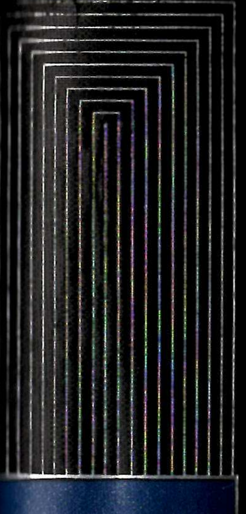


SIR JAMES JEANS
DURCH RAUM UND ZEIT

SIR JAMES JEANS

Durch RAUM und ZEIT

DURCH RAUM UND ZEIT

DURCH RAUM UND ZEIT

VON

SIR JAMES JEANS

M.A., D.Sc., Sc.D., LL.D., F.R.S.



Viertes und fünftes Tausend

DEUTSCHE VERLAGS-ANSTALT
STUTTGART BERLIN

Einband und Schutzumschlag von Ilse Schüle

Printed in Germany
Druck der Deutschen Verlags-Anstalt Stuttgart
Papier von der Papierfabrik Salach in Salach, Württemberg

Inhalt

Verzeichnis der Tafeln

Vorrede

Seit mehr als hundert Jahren bittet die Royal Institution of Great Britain, eine Gesellschaft zur Förderung und Verbreitung der Naturwissenschaften, alljährlich um die Weihnachtszeit einen Gelehrten, eine Reihe von Vorträgen „für jugendliche Hörer“ zu halten. In Wirklichkeit besagt diese merkwürdige Wendung, daß der Vortragende einer aufmerksamen und kritischen Zuhörerschaft gegenübergestellt wird, deren Lebensalter sich in einer Spanne von unter 8 bis über 80 Jahren bewegt und deren wissenschaftliche Kenntnisse sowohl denen eines Kindes unter 8 Jahren als auch denen eines ordentlichen Professors und ehrwürdigen Mitgliedes der Königlichen Gesellschaft entsprechen. Und jeder von ihnen erwartet von dem Vortragenden etwas, das gerade ihn fesselt.

Das vorliegende Buch enthält das Wesentliche der Vorträge, die ich in der Weihnachtszeit 1933 zu halten die Ehre hatte. Es ist an manchen Stellen ergänzt durch das, was ich bei etwas ernsteren Gelegenheiten vortrug, sei es in der Royal Institution oder anderwärts.

Es ist mir ein Vergnügen, für die mir so oft erwiesene Liebenswürdigkeit und die viele wertvolle Hilfe meinen Dank auszusprechen. Insbesondere bin ich Sir T.L. Heath für die Erlaubnis, weitgehend seine „Greek Astronomy“

und andere Bücher benutzen zu dürfen, zu Dank verpflichtet und ebenso vielen Instituten, Verlegern und privaten Bekannten für die leihweise Überlassung von Lichtbildern, Abdrucken, Druckplatten usw. und die Erlaubnis, sie in meinem Buche wiederzugeben.

Schließlich möchte ich noch Sir Thomas Heath und meiner Schwester Gertrude Jeans für ihre Hilfe beim Korrekturenlesen danken.

J. H. Jeans

I. Kapitel

Die Erde

Wir leben in einer Zeit der Unrast, in der jeder reist, der es irgend kann. Die Bevorzugten unter uns mögen fremde Erdteile besucht, vielleicht sogar die Welt umschifft und sonderbare Dinge und Landschaften auf ihren Fahrten gesehen haben. Und jetzt brechen wir auf zu der längsten Reise im ganzen Universum. Wir reisen — oder tun, als reisten wir — so weit durch den Raum, daß unsere Erde so klein wird wie das winzigste Sonnenstäubchen, und so weit durch die Zeit, daß die ganze Menschheitsgeschichte nicht länger dauert als das Tick einer Uhr und ein Menschenleben nicht mehr ist als ein Augenzwinkern.

Während wir den Raum durchmessen, wollen wir versuchen, ein Bild des Weltalls zu entwerfen, wie es jetzt ist — weite Räume von unvorstellbarer Ausdehnung und schauerlicher Öde, die nur selten durch kleine Teilchen kalter lebloser Materie und noch seltener durch jene feurigen Bälle aus flammendem Gas, die wir Sterne nennen, vom Fluch äußerster Leere erlöst werden. Die meisten dieser Sterne sind einsame Wanderer im Raum; nur hier und da werden wir vielleicht auf einen Stern stoßen, der einer Familie ihn umkreisender Planeten Licht und Wärme spendet.

Aber auch von diesen werden wahrscheinlich nur wenige unserem eigenen Erdball gleichen und die meisten so sehr von ihm abweichen, daß wir kaum imstande sein werden, ihre Landschaft zu beschreiben oder uns eine Vorstellung von ihrem physikalischen Zustande zu machen.

Während wir die Zeit durchreisen, werden wir versuchen, dies Momentbild zu einer Art kinematographischem Film auszudehnen, der uns nicht nur die Gegenwart, sondern auch die Vergangenheit und Zukunft des Universums zeigt. Wir werden den Sternhimmel erblicken, wie er vor einer Million Jahren, vor tausend Millionen, ja möglicherweise vor einer Billion Jahren aussah; wir werden gewaltige Sternkolonien beobachten, eine jede so zahlreich wie Sand am Meer, die geboren werden, ihr Leben leben und endlich sterben. Als eine winzige Einzelheit in dem großen Drama werden wir dabei auch sehen, wie ein unscheinbares Sandkörnchen — unsere Sonne — unter großem Getöse zerbirst und schließlich eine Familie von Planeten erzeugt. Wir werden sehen, wie einer der kleineren unter diesen Planeten — unsere Erde — als ein heißer Gasball ins Dasein tritt, allmählich abkühlt und zuletzt eine geeignete Stätte für organisches Leben wird. Dann wird zu seiner Zeit das Leben auf der Erde erscheinen und endlich der Mensch auftreten, der Besitz ergreift von seinem winzigen Staubfleck im Raum, mit Erstaunen über die seltsame Welt hinblickt, in die sein Leben hineingeworfen ist, und halb in Neugier, halb in Angst und Schrecken der Zukunft entgegenschaut.

Doch bevor wir auf unsere lange Reise gehen, wollen

wir innehalten und unser eigenes Haus im Raum betrachten — unsere Erde. Sie kann uns vieles lehren, was uns auf unseren Reisen nützlich sein wird. Wir wissen, daß sie kugelförmig ist; das wird uns klar, wenn wir auf ihr herumwandern und sie vermessen, wenn wir Schiffe beobachten, die über den Horizont heraufkommen, oder wenn wir die Gestalt ihres Schattens betrachten, während er bei einer Verfinsterung über die Mondscheibe fortgeht. Das mag sich alles recht einfach anhören, aber das Menschengeschlecht hatte Hunderttausende von Jahren auf der Erde gelebt, ehe es auf derlei verfiel. Noch vor ein paar hundert Jahren glaubten die meisten, die Erde sei eine ebene Fläche, und ein paar Querköpfe glauben es noch heute. Für die alten Griechen, Homer nicht ausgenommen, war die Erde eine flache kreisförmige Scheibe, rings umschlossen von Okeanos, dem Ozean, den sie für einen Fluß hielten. Über dem Ganzen ruhte der Dom des Himmels wie eine Käseglocke über ihrer Platte. Der Grieche Pythagoras, der um 570 v. Chr. geboren wurde, war wohl der erste Mensch, der behauptete, die Erde sei rund.

Wir wissen auch, daß sich die Erde dreht. Tag um Tag und Nacht um Nacht sehen wir Sonne, Mond und Sterne im Osten aufgehen, in gemessenem Reigen den Himmel umwandeln und im Westen versinken; und dies Schauspiel muß dem Menschen seit dem ersten Erwachen seines Verstandes immer vertraut gewesen sein. Aber so lange man sich die Erde als eine flache Scheibe vorstellte, war es bequemer anzunehmen, daß sich das Himmelsgewölbe über der Erde, als daß sich die Erde unter dem Himmelsgewölbe drehe. Selbst Pythagoras,

welcher glaubte, daß die Erde eine im Raum schwebende Kugel sei, kam noch nicht auf diesen Gedanken. Nach seinem Weltbild stand die Erde still im Mittelpunkt des Universums, und die Sterne waren an einer Sphäre befestigt, welche sich von Osten nach Westen um sie drehte. Soweit wir wissen, sprach Heraklides von Pontus (etwa 388—315 v. Chr.) als erster mit vollkommener Klarheit die Behauptung aus, daß sich die Erde drehe und daß dies der Grund sei, warum die Himmelskörper sich zu bewegen schienen.

Es ist nicht schwer zu beweisen, daß wir es sind, die sich unter den Sternen bewegen, und nicht die Sterne, die sich über unserem Kopf fortdrehen. Jetzt, da jedermann ein Auto fährt, sind wir alle vertraut mit der Eigenschaft der Materie, die wir „Trägheit" nennen. Etwa ein Jahrhundert nach Christus erklärte Plutarch sie mit den Worten: „Alles wird von der Bewegung fortgetragen, die ihm natürlich ist, solange es nicht von etwas anderem abgelenkt wird." Fünfzehnhundert Jahre später beschrieb Isaak Newton dieselbe Eigenschaft der Materie, indem er sagte, daß alle Körper im Zustand der Ruhe oder gleichförmiger, geradliniger Bewegung verharren, solange sie nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen werden, davon abzugehen. Wenn unser Wagen frei läuft, können wir ihn nicht dadurch anhalten, daß wir den Motor abstellen; sein Impuls trägt ihn noch weiter, und um ihn zu stoppen, müssen wir entweder die Bremsen anziehen oder warten, bis Reibung und Luftwiderstand auf gemächlichere Art die Bewegung zum Stillstand bringen. Nicht nur jedes Ding, sondern auch jeder Teil eines Dinges scheint eine

Neigung zu haben, eine einmal gegebene Bewegung fortzusetzen und sie nur zu verändern, wenn etwas an ihm zieht und es dazu zwingt. So können wir, wenn wir das Steuerrad unseres Autos drehen, den unteren Teil des Wagens zwingen, der Bewegung der Vorderräder zu folgen, aber der obere wird eine Neigung zeigen, seinen Kurs innezuhalten, und wir wissen, daß der Wagen, wenn wir das Steuer zu scharf herumwerfen, in Gefahr ist, sich zu überschlagen. Oder auf einem vereisten oder aufgeweichten Weg, auf dem die Räder keinen Halt haben, wird der ganze hintere Teil des Wagens in seiner Bewegung zu beharren streben, so daß das Auto ins Schleudern gerät. Dieser Trägheitseigenschaft der Materie werden wir auf unserer Reise durch Raum und Zeit noch sehr oft begegnen.

Im Augenblick ist sie für uns von Wichtigkeit, weil sie uns den einfachsten und überzeugendsten Beweis dafür liefert, daß die Erde sich wirklich dreht. Wenn wir einen schweren Ball oder ein Gewicht pendelartig am Ende einer Schnur hin und her schwingen, finden wir, daß es seine Richtung im Raume beibehält, mögen wir das Ende der Schnur auch noch so sehr zwirbeln oder herumführen; die Schwingung eines Pendels im Raum läßt sich durch Drehen des Schnur-Endes ebensowenig steuern wie ein Auto auf Eis durch Drehen des Steuers.

Wir wollen die Bewegung unseres Pendels nun so einrichten, daß es hin- und widerschwingt in bezug auf einen deutlich markierten geographischen Punkt, etwa einen Kirchturm. Da wir möchten, daß die Bewegung eine gute Weile fortdauert, ist es ratsam, ein richtig

schweres Gewicht zu nehmen und es von einem hohen Dach herunterhängen zu lassen; probieren wir, den Versuch in bescheidenerem Maßstab auszuführen, so wird das Pendel durch den Luftwiderstand zu bald angehalten werden.

Wenn die Erde im Raum ruhte, würde das Pendel natürlich fortfahren, gegen den Turm hin- und von ihm fortzuschwingen, bis der Luftwiderstand es zum Stillstand gebracht hätte. Statt dessen beobachten wir, daß die Richtung seiner Schwingung allmählich weiter und weiter von dem Kirchtum fortrückt. Die wahre Schwingungsrichtung des Pendels kann sich nicht verändert haben, so müssen wir schließen, daß der Kirchturm sich bewegt hat. Und das hat er auch; die Drehung der Erde hat ihn mit sich herumgeführt.

Nun wollen wir unsere Reise damit beginnen, daß wir an den Nordpol fahren. Das Pendel nehmen wir mit und führen dort unser Experiment aus. Wenn wir, die Erde nicht beachtend, unsere Augen auf den Himmel heften, sehen wir, daß das Pendel während seiner ganzen Bewegungsdauer zwischen denselben Sternen hin und her schwingt; stoßen wir es zum Beispiel in Richtung auf den Arktur an, so wird es auch weiter auf den Arktur zu- und von ihm zurückschwingen. Das beweist, daß der Arktur immer in derselben Richtung im Raum steht. Blicken wir nun auf die Erde nieder, so können wir sehen, wie sich unter unserem unverändert weiterschwingenden Pendel die Erdoberfläche fortdreht mit der Geschwindigkeit von einer Umdrehung in 24 Stunden — oder genauer in 23 Stunden 56 Minuten 4,1 Sekunden. In anderen Breiten wäre das Ergebnis des Experimentes schwerer zu beschreiben und zu erklären.

Dies Experiment ist allgemein bekannt als der Foucaultsche Pendelversuch. Der französische Physiker Foucault führte es 1852 öffentlich in Paris aus, indem er sein Pendel an der Kuppel des Pantheons aufhing. Tausende von Menschen schauten ihm zu, und als sie sahen, wie die Schwingungsebene des Pendels relativ zu den Pantheonmauern herumrückte, versicherten viele, sie fühlten, wie die Erde sich unter ihren Füßen drehe.

Das Trägheitsprinzip liefert uns noch einen zweiten, aber weniger direkten Beweis für die Drehung der Erde. Wir Nordeuropäer, so gewöhnt an die unaufhörlichen raschen Witterungsumschläge unseres Klimas, vergessen fast, daß es weite Strecken auf der Erde gibt, wo das Wetter kaum jemals wechselt. Am Äquator ist es immer heiß, und die Luft, die von den Winden über diese heißen Gegenden hingeführt wird, erwärmt sich ebenfalls und strebt danach, aufzusteigen wie die heiße Luft in einem dumpfigen Zimmer oder die heißen Gase in einem Schornstein. Analog kühlt sich die Luft ab, die mit dem Wind über die arktischen und antarktischen Zonen fortstreicht, und hat daher eine Tendenz, auf die Erde hinunterzusinken.

Wenn die Erde sich nicht drehte, würde diese örtliche Erwärmung und Abkühlung der Luft die ganze Atmosphäre in einen Zustand stetiger Zirkulation in nordsüdlicher Richtung versetzen. An den beiden Polen würde die Luft herunterfallen; der Druck der nachströmenden Luft würde sie längs der Erdoberfläche gegen

den Äquator drücken, wo sie aufsteigen und durch die oberen Luftschichten zu den Polen zurückströmen würde. Eine solche Zirkulation kommt tatsächlich zustande; aber sie wird fast verdeckt durch andere kompliziertere Bewegungen, welche von der Drehung der Erde hervorgerufen werden.

Die rotierende Erde reißt dieses ganze System zirkulierender Luft mit sich herum, aber es kann niemals völlig Schritt halten mit der festen Erde, die ihm diese Bewegung aufzwingt. Ein Berg oder ein anderer Punkt der Erdoberfläche in Norwegen rotiert um die Erdachse mit einer Geschwindigkeit von etwa 800 km in der Stunde, einer am Äquator dagegen mit etwa 1600 km die Stunde. Nun ist die Mitführung durch die Reibung der Erde nicht wirksam genug, um die Geschwindigkeit der Luft im Lauf ihrer Reise von Norwegen südwärts bis zum Äquator von 800 auf 1600 km in der Stunde zu erhöhen. Die Berge und die Oberfläche der Erde sind nicht so rauh und zackig, daß sie die Luft richtig fest packen können, sie rutscht immer ein bißchen zurück — ungefähr wie ein Auto, wenn die Bremse nicht ganz hält. Wenn wir die Luft auf diese Art zurückstreichen fühlen, sagen wir, es ist Ostwind.

Dies ist der Ursprung der Passatwinde, die auf beiden Seiten des Äquators stetig von Osten nach Westen wehen. Wenn die Erde sich nicht drehte, gäbe es keine Ursache für die Passatwinde, so daß wir diese Winde als einen Beweis für die Erdrotation ansehen können. Es ist leichter, nach Westen zu segeln als nach Osten; denn im ersten Fall bewahrt uns die Trägheit der umgebenden Luft davor, daß wir in die volle Bewegung

der Erde hineingezogen werden, im zweiten Fall dagegen haben wir die ernstere Aufgabe, die Erde in ihrer Bewegung zu überholen.

Kurz nachdem Heraklit dargelegt hatte, daß die Erde sich dreht, stellte Eratosthenes von Alexandria mit großem Scharfsinn und überraschendem Erfolg die Größe der Erde fest. Er glaubte, wie die meisten seiner Zeit, daß die Entfernung der Sonne ungeheuer groß sei, verglichen mit der Ausdehnung der Erde. Also mußte, wenn man annahm, daß die Erde vollkommen flach sei, die Sonne an allen Orten zu derselben Zeit senkrecht herunterscheinen. In Wirklichkeit fand er aber, daß die Sonne, wenn sie senkrecht über Syene (dem heutigen Assuan) stand, nicht senkrecht über Alexandrien stand, welches 5000 Stadien nördlich liegt. Da die Sonnenstrahlen an den beiden Orten nicht aus verschiedenen Richtungen kommen konnten, schloß er, daß die Richtungen „senkrecht über" verschieden sein mußten. Und er fand in der Tat, daß sie um den fünfzigsten Teil des Kreisumfangs oder $7^1/_5{}^0$ voneinander abwichen; wenn die Sonne senkrecht über Syene stand, war sie in Alexandrien $7^1/_5{}^0$ vom Zenith entfernt. Hieraus schloß er, daß die Erdoberfläche zwischen den beiden Städten sich um $7\,^1/_5{}^0$ krümmte oder, wie wir heute sagen würden, daß ihr Breitenunterschied $7\,^1/_5{}^0$ betrug.[1] Eine leichte Rechnung zeigte alsdann, daß der ganze Erdumfang fünfzigmal 5000 Stadien oder 250 000 Stadien sein mußte. Eratosthenes berichtigte sein Resultat später auf 252 000 Stadien, was wahrscheinlich etwa 39 459 km gleichkommt. Da der tatsächliche Erd-

[1] Die wahre Differenz ist etwa 7° 7'.

umfang, gemessen in der Nord-Süd-Richtung, 39 710 km und der um den Äquator 39 843 km beträgt, sehen wir, daß Eratosthenes' Messung einen Fehler von weniger als einem Prozent enthält.

Wir wollen uns noch mit einem weiteren Beispiel des Trägheitsprinzips beschäftigen, nach welchem, wie wir

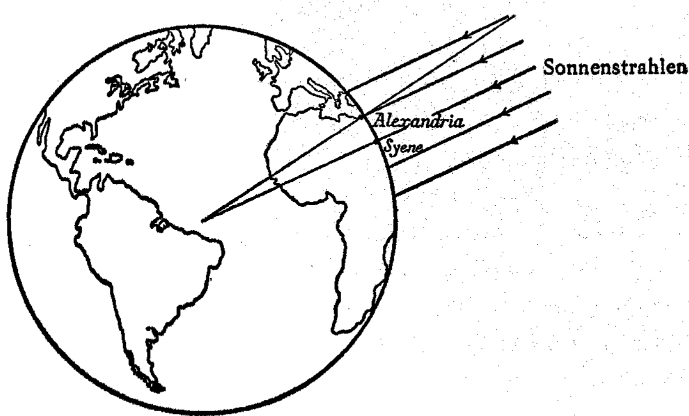


Abb. 1. Eratosthenes fand, daß die Sonnenstrahlen, wenn sie senkrecht auf Syene fielen, in Alexandrien um den fünfzigsten Teil des vollen Kreisumfangs von der Senkrechten abwichen. Er schloß daraus, daß der Umfang der Erde fünfzigmal so groß sei wie die Entfernung Alexandrien—Syene

gesehen haben, alle Gegenstände in ihrer geradlinigen Bewegung beharren, solange nichts da ist, was sie davon ablenkt. Wir wissen, daß ein Gewicht, welches wir am Ende einer Schnur herumschwingen, in dem Augenblick, da die Schnur reißt, tangential in den Raum hinausfliegt. Nachdem der Faden gerissen ist, trägt die Trägheit des Gewichts dieses in gerader Richtung fort; bevor der Faden riß, muß also etwas an dem Gewicht gezogen haben, um es in seiner kreisförmigen Be-

wegung zu erhalten; natürlich war das der Zug des Fadens.

Gegenstände, die sich auf dem Erdäquator befinden, sind nun in einer ähnlichen Lage wie das Gewicht am Ende des Fadens. Die Erdumdrehung reißt sie einmal in 24 Stunden um einen Kreis von 39 843 km im Umfang herum, so daß sie eine Stundengeschwindigkeit von über 1600 km besitzen. Das Trägheitsprinzip besagt, daß sie ihre Bewegung geradlinig fortsetzen und somit tangential in den Raum hinausfliegen würden, wenn nicht etwas da wäre, was sie beständig daran hindert, indem es sie aus der geraden Linie herauszieht, auf welcher sie sich sonst bewegten.

Dies Etwas nennen wir die Gravitationsanziehung der Erde. Sie zieht mit solcher Kraft an unserem eigenen Körper, daß wir nicht imstande sind, viel über zwei Meter in die Luft hinaufzuspringen, und muß selbstverständlich auch auf die anderen Körper einen entsprechend mächtigen Zug ausüben. Dennoch ist sie nicht allmächtig. Je schneller ein Körper sich bewegt, um so größer ist der Zug, der nötig ist, um ihn auf seiner Kreisbahn zu erhalten — wie wir leicht feststellen können, wenn wir zu unserem Gewicht zurückkehren und es rascher und immer rascher um das Ende des Fadens herumwirbeln. Gegenstände, die sich mit 1600 km die Stunde bewegen, kann die Erdanziehung noch spielend festhalten, aber das ändert sich bei größeren Geschwindigkeiten. Wenn die Erde plötzlich anfinge, sich siebzehnmal so rasch zu drehen, so daß wir einen 85-Minuten-Tag hätten, würde sich uns das überraschende Schauspiel bieten, daß alle Dinge auf und

nahe dem Äquator sich vom Boden erhöben und tangential in den Raum hinausflögen, wobei Luft und Meer sie natürlich begleiten würden. Die Dinge, die auf der Erdoberfläche ruhen, sind wie Regentropfen auf der Oberfläche eines Rads; solange das Rad sich langsam dreht, geschieht nichts, aber wenn es sich schnell dreht, fliegen sie davon auf Nimmerwiedersehen.

Wie die Dinge liegen, ist nun freilich kein Gedanke daran, daß Gegenstände auf dem Äquator in den Raum hinausgeworfen werden könnten; immerhin zeigen sie eine gewisse Neigung in dieser Richtung. Zum Beispiel kann ein Mensch am Äquator mit geringerer physischer Anstrengung als irgendwo sonst auf dem Planeten einen Hochsprung machen, weil seine Rotationsgeschwindigkeit von 1600 km in der Stunde ihm hilft, die Erdanziehung zu überwinden. Aus diesem Grund sind turnerische Höchstleistungen in verschiedenen Breiten nicht genau vergleichbar; es sollte eigentlich einen Handikap für Äquatornähe geben.

Einen weiteren Beleg für diese Tendenz können wir in dem Umstand erblicken, daß die Erde selbst am Äquator ausgebaucht ist. Man beschreibt das gern, indem man sagt, die Erde sehe aus wie eine Apfelsine; in Wirklichkeit ist jedoch der längste Durchmesser nur 43 km länger als der kürzeste — ein Unterschied von nur 1 zu 300 —, und eine Apfelsine, die nicht platter wäre, würde bei flüchtigem Hinblicken vollkommen rund erscheinen. Aber wenn die Abplattung der Erde auch fast unmerklich ist, werden wir doch bald zu Planeten kommen, die so rasch rotieren, daß sie schon auf den ersten Blick abgeplattet erscheinen, während uns

später auf unseren Reisen Körper anderer Art begegnen werden, deren Umdrehungsgeschwindigkeit so groß ist, daß tatsächlich Dinge von ihrem Äquator in den Raum hinausfliegen.

Unsere Erde ist aber nicht nur in bezug auf ihre Gestalt einer Orange vergleichbar, sondern auch weil sie eine warzige Haut oder Schale hat, mit Erhebungen und Vertiefungen — den Bergen und Tälern. Allerdings übertreibt auch dieser Vergleich wiederum die Unregelmäßigkeiten der Erde. Er gäbe uns ein richtiges Bild im wahren Größenverhältnis, wenn die Erde mit 80 km hohen Bergen besetzt wäre; statt dessen mißt die höchste Erhebung, der Mount Everest, nicht viel mehr als $8^2/_3$ km. Auf einem 30-cm-Globus würde schon das Übereinandergreifen des Papiers einem Höhenunterschied von etwa 11 km entsprechen, das heißt einer größeren Unregelmäßigkeit, als es überhaupt auf der Erde gibt. Alles in allem weicht die Erde kaum von einer vollkommenen Kugel ab und sieht jedenfalls einem Billardball viel ähnlicher als einer Apfelsine.

Der Vergleich mit einer Orange geht noch in einer dritten Richtung fehl. Die Erdgebirge treten nicht als regelmäßige Bildungen auf wie die Pickel auf einer Apfelsinenschale, sondern als unregelmäßige Grate und Züge, eher wie die Runzeln in der Haut eines eingeschnurrten Apfels. Und dies ist zufällig ein sehr guter und nützlicher Vergleich, denn die Erdgebirge sind tatsächlich durch Schrumpfung entstanden; sie haben genau dieselbe Ursache wie die Fältelungen in der Apfelschale.

Doch fürchte ich, können wir dies erst ganz ver-

stehen, wenn wir ein gut Stück weitergeforscht haben in Raum und Zeit — weit zurück in die vergangene Geschichte der Erde und tief hinunter in ihr Inneres.

Wie können wir das Innere der Erde erforschen? Wir könnten natürlich ein Loch graben wie der Bergwerksingenieur, der nach Kohlen sucht, oder einen Schacht bohren wie ein Ölkonzern; aber diese Methoden bringen uns dem Mittelpunkt der Erde um kein nennenswertes Stück näher. Ölbohrungen reichen nur etwa 2500 m tief und Kohlenbergwerke sogar um die Hälfte weniger; die tiefsten Löcher von Menschenhand sind nur wie winzige Stecknadelstiche in die Haut unseres Apfels und gelangten auch nicht von Ferne in die Nähe der zentralen Schichten.

Daher wußten wir, so wunderlich es klingt, bis vor kurzem mehr über den Zustand der fernsten Sterne als über den der Erde ein paar Kilometer unter unseren Füßen. Erst die neue Wissenschaft der Seismologie hat uns gelehrt, wie wir unsere Forschungen viele tausendmal tiefer treiben können als mit Hilfe des tiefsten Lochs — ja, bis hinein in den Mittelpunkt der Erde.

Es sprechen viele Zeichen dafür, daß der Druck im Erdinnern beständig wechselt und die Erdstruktur sich in einer immerwährenden allmählichen Verschiebung und Umbildung befindet unter dem Einfluß dieser beständig wechselndem Drucke. Gelegentlich macht das langsame Nachgeben einem plötzlichen Reißen oder Brechen Platz, das die ganze Erde durchrüttelt — einem Erdbeben.

Bei einem Erdbeben gehen von der Bruchstelle Wellen aus, die in allen Richtungen durch die ganze Erde

wandern; gleich wie wenn wir einen Stein in einen Teich werfen, von der Einschlagstelle Wellen ausgehen und sich über den ganzen Teich verbreiten. Wenn diese Wellen endlich an der Erdoberfläche auftauchen, bringen sie uns Kunde in Hülle und Fülle über die Bedingungen, welche sie auf ihrer langen Reise durch das Erdinnere angetroffen haben. Darum werden diese Wellen in Hunderten von Observatorien, die über die ganze Erdoberfläche verteilt sind, aufgezeichnet und verarbeitet. Dort werden alljährlich Hunderte von Erdbeben beobachtet, von denen die meisten zum Glück so leicht sind, daß sie keinen Schaden an Leben oder Eigentum anrichten und uns völlig entgehen würden, besäßen wir nicht ein außerordentlich empfindliches Instrument, den sogenannten Seismographen, um sie nachzuweisen.

Die wesentlichen Teile eines solchen Instruments sind schematisch in Abbildung 3 auf Tafel I dargestellt. Es besteht zunächst aus einem langen Arm oder horizontalen Pendel, welches frei an einer vertikalen Achse schwingt, die auf irgendeine Weise mit dem festen Erdboden verbunden ist. Wenn die Erde bebt, kommt eine Welle und gibt der Achse einen Ruck, wodurch der Hebelarm in Schwingung versetzt wird; ein Bleistift, der an dem Ende des Hebelarms befestigt ist, verzeichnet die Bewegung automatisch auf einem unter ihm durchgleitenden Papierstreifen. Man muß zwei dieser Instrumente gleichzeitig benutzen, da ein Hebelarm in nordsüdlicher und einer in ostwestlicher Richtung weisen muß. Hätte man nur einen in Gebrauch, so würde er die Erdbebenwellen nicht verzeichnen,

die in derselben Richtung laufen, in welche er selber weist.

Wenn das Instrument seinen Zweck erfüllen soll, muß der Hebelarm sehr empfindlich aufgehängt sein, und leider kann man ihn dann nicht hindern, alle Sorten von Erdzuckungen aufzuzeichnen, welches auch ihre Ursachen sein mögen. So meldet er zum Beispiel getreulich jeden vorüberfahrenden Zug, Autobus, Lastwagen, so daß der Beobachter, wenn er nicht beständig durch solche Dinge gestört sein will, gut tut, seinen Seismographen an einem stillen Ort aufzubauen. Selbst dann wird er finden, daß der Anprall des Meeres an den Küsten das Land weit hinein erschüttert und seinen Seismographen mit ihr, so daß er nach seinen Beobachtungen im Binnenland sagen kann, ob die See draußen bewegt oder ruhig ist. Es stellte sich heraus, daß die Resultate, die man in dem indischen Observatorium Colaba erhielt, ganz deutlich die Witterungsbedingungen im Bengalischen und Arabischen Meerbusen spiegelten. Man war imstande, Stürme in Entfernungen von mehr als 1600 km festzustellen, und es sind Versuche gemacht, die Annäherung von Zyklonen und Monsunen auf diese Weise vorauszusagen.

Für den erfahrenen Beobachter macht es keine Schwierigkeiten, örtliche Stöße wie diese, die nur einen kleinen Teil der Erdoberfläche erschüttern, zu unterscheiden von wirklichen Erdbeben, welche die ganze Erde in Mitleidenschaft ziehen. Wir zeigen einen Ausschnitt aus einer tatsächlichen seismographischen Beobachtung in Abbildung 4 auf Tafel I. Die großen, offenen Wellen rechts in der zweiten Linie von oben

stellen wirkliche Erdbebenwellen dar; all die andern kleinen Wellen sind Abbilder geringfügiger Erderschütterungen unaufgeklärten Ursprungs.

Wenn ihre Seismographen ein wirkliches Erdbeben verzeichnen, merken die verschiedenen Observatorien sich die Zeiten, zu denen die Stöße sie erreicht haben, und aus dem Unterschied zwischen diesen können sie auf die Geschwindigkeit schließen, mit welcher die Wellen sich in der festen Erde fortgepflanzt haben. Wenn die Struktur und Zusammensetzung des Erdinnern gleichförmig wäre, würden die Erdbebenwellen sich immer mit derselben gleichförmigen Geschwindigkeit fortpflanzen. In Wirklichkeit findet man aber, daß Wellen, die sich tief im Erdinnern aufgehalten haben, eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit besitzen als solche, die an der Oberfläche geblieben sind. Andererseits breiten sich Wellen, die in derselben Tiefenlage gewesen sind, immer mit derselben Durchschnittsgeschwindigkeit aus. Und das gilt, gleichgültig ob ihr Weg nordsüdlich oder ostwestlich oder in irgendeiner anderen Richtung verlaufen ist, und auch unabhängig davon, ob sie unter einem Kontinent oder einem Ozean, unter der Alten oder der Neuen Welt durchgewandert sind. Das zeigt, daß Substanz und Zusammensetzung der Erde in derselben Tiefe überall gleich ist, in verschiedenen Tiefen aber verschieden sein kann.

So können wir uns das Erdinnere füglich als eine Folge gebogener Schichten vorstellen, die einander umschließen wie Zwiebelschalen, oder auch als ein rundes Paket, das in viele viele Hüllen eingewickelt ist.

Die Wellen, die sich bei einem Erdbeben am bemerk-

barsten machen und am meisten Unheil anrichten, sind die Oberflächenwellen, welche sich am Boden fortpflanzen. Neben ihnen gibt es zwei verschiedene Wellenarten, die sich im Erdinnern ausbreiten — die „primären" Wellen, welche aus longitudinalen, und die „sekundären", welche aus transversalen Schwingungen bestehen. In einer Flüssigkeit oder einem Gas sind keine transversalen Wellen möglich, so daß die sekundären Wellen sich nur in fester Materie fortpflanzen können. Nun findet man, daß sie sich durch das ganze Erdinnere ausbreiten mit Ausnahme einer Zone, die sich vom Erdmittelpunkt nach allen Seiten etwa 3500 km weit erstreckt, dem sogenannten Kern der Erde. Man scheint also schließen zu können, das das ganze Erdinnere fest ist, mit Ausnahme dieser zentralen Zone, welche entweder flüssig oder gasförmig sein kann, wenn sie nicht aus Materie in einem uns unbekannten Zustand besteht. Wahrscheinlich hat man dort eine sehr schwere Flüssigkeit von etwa der zehn- oder zwölffachen Dichte des Wassers zu erwarten. Das könnte im wesentlichen geschmolzenes Eisen sein, vielleicht untermischt mit Nickel, möglicherweise, wie die Geologen glauben, von ähnlicher chemischer Zusammensetzung wie die Eisenmeteoriten, die aus dem Weltraum auf die Erde fallen. Allerdings sind diese Stoffe unter normalen Bedingungen nicht zehn- oder zwölfmal dichter als Wasser, aber wir müssen bedenken, daß wir sie normalerweise nicht unter hohen Drucken antreffen und daß der Druck im Erdkern ungeheuer hoch sein muß, da er das Gewicht des größeren Teils der Erde zu tragen hat. Eine rohe Schätzung ergibt, daß der Druck an der Oberfläche des

Kerns etwa 1200 t pro Quadratzentimeter betragen muß, das ist über eine Million mal soviel wie der Druck der Atmosphäre an der Erdoberfläche. Der Druck im Mittelpunkt der Erde ist noch größer, etwa 1600 t pro Quadratzentimeter.

In unserem Gleichnis von vorhin spielt der Erdkern die Rolle des runden Pakets. Dann kommt als erste Hülle eine Schicht von Materie, die etwa 2700 km dick ist und als die Barysphäre bezeichnet wird. Sie leitet beide Arten von Erdbebenwellen mit Geschwindigkeiten, aus denen hervorgeht, daß sie aus schwerer fester Materie besteht, die härter als Stahl ist. Sogar innerhalb der Barysphäre pflanzen sich die Wellen nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort; ebenso wie in der Erde als Ganzem breiten sich auch hier diejenigen Wellen, welche tiefer liegen, am schnellsten aus und zeigen damit an, daß die tieferen Schichten härter sind als die höheren. Innerhalb der Barysphäre findet vielleicht ein allmählicher Übergang von den schweren Stoffen wie Eisen und Nickel zu den leichteren Stoffen statt, aus denen die Gesteine der Erdoberfläche bestehen.

Die Barysphäre reicht bis zu einer Höhe von ungefähr 80 km unterhalb der Erdoberfläche, so daß die übrigen Hüllen vergleichsweise dünn sind. Von diesen nimmt man an, daß sie aus Gesteinen bestehen, weshalb sie auch den Sammelnamen Lithosphäre oder Steinregion führen. Es ist der Seismologie gelungen, aus der verschiedenen Fortpflanzungsart und -geschwindigkeit der Erdbebenwellen auf drei getrennte Schichten innerhalb dieser Zone zu schließen. Über die Struktur der unteren sind die Meinungen noch geteilt, aber

die mittlere ist wahrscheinlich basaltisch und die oberste so gut wie sicher granitisch.

Abbildung 2 gibt die Anordnung im Erdinnern wieder, wie sie sich nach den Ergebnissen der Seismologie darstellt.

Der innere Kern und die verschiedenen Hüllen, die wir bis jetzt beschrieben haben, stellen den wesentlichen und dauernden Erdkörper dar. Wenn wir die Erde weiter mit einem Apfel vergleichen, entspricht der zentrale Kern dem Kernhäuschen, die Barysphäre dem Fleisch und die Lithosphäre der Schale; dies Gleichnis vermittelt übrigens auch ein ganz gutes Bild der gegenseitigen

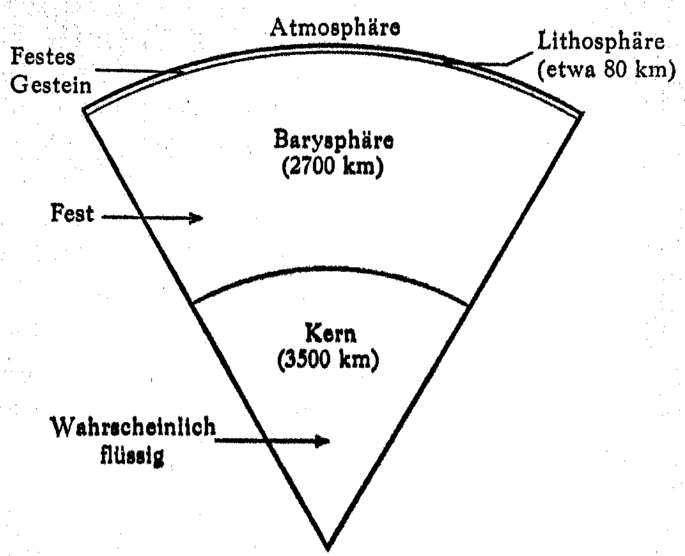


Abb. 2. Schematische Darstellung des Erdinnern, wie es sich aus Beobachtungen an Erdbebenwellen ergibt. Die Höhe der höchsten Berge beträgt nur ein Zehntel von der Dicke der Lithosphäre, ist also geringer als die Breite der gedruckten Linie, welche die Erdoberfläche darstellt

Größenverhältnisse. Aber auf diese Hüllen folgen noch andere von mehr zufälliger, vorübergehender und wechselnder Natur, die wir mit Staubflecken oder Regentropfen auf der Schale unseres Apfels vergleichen könnten.

Zuerst kommen, entsprechend dem Staub auf dem Apfel, die sogenannten sedimentären Schichten, die wir sogleich ausführlicher beschreiben werden. Es sind ihrer mehrere, und ihre totale Dicke, die Dicke der Staubschicht auf unserem Apfel, wechselt von vielen Kilometern zu fast nichts, denn es gibt Stellen, wo die Granitfelsen der Lithosphäre fast bis an die Oberfläche hinaufragen (vgl. Abbildung 11 Seite 44).

Darauf kommen wir zu den Regentropfen auf dem Apfel, das heißt hier zu der Wasserschicht, die wir den Ozean nennen; die Dicke dieser Schicht schwankt zwischen 8 km an den Stellen der größten Meerestiefen und gar nichts an den Orten, wo das feste Land aus dem Meer auftaucht.

Und schließlich liegt über allem die Atmosphäre, bestehend aus zwei Schichten, der Troposphäre und der Stratosphäre, die wir im nächsten Kapitel ausführlich besprechen werden.

So sehen wir, daß die Erde aus einer ganzen Anzahl von Schalen aus verschiedenem Stoff besteht. Die inneren enthalten im allgemeinen schwerere Substanzen als die äußeren, wie wenn die gewichtigeren tief in den Erdkörper hinuntergesunken, die leichteren dagegen an die Oberfläche aufgestiegen wären. Aber die Trennung ist durchaus nicht rein durchgeführt; vielmehr kommen einige der schwersten bekannten Stoffe wie Blei, Quecksilber, Gold in der obersten Kruste der Erde vor.

Wir werden später darüber sprechen, daß die Erde ihr Dasein wahrscheinlich als eine heiße Gasmasse begann. Sie entstand in einer ungeheuren Katastrophe, in deren Verlauf ihre verschiedenen Bestandteile, soweit sie nicht schon vorher recht gut gemischt waren, gründlich durcheinandergeschüttelt sein müssen. Dann werden, als Ruhe und Frieden dem Aufruhr und der Verwirrung folgten, die leichteren Elemente begonnen haben aufzusteigen, während die schwereren gegen den Erdmittelpunkt absanken.

Während dieser ganzen Zeit kühlt sich die Erde ab und beginnt schließlich flüssig und zuletzt fest zu werden. Ist ein Stück der Erde einmal fest geworden, so können die verschiedenen Substanzen, aus denen es besteht, nicht mehr steigen oder sinken; sie sind gefangen in der festen Masse und müssen für immer dort bleiben, wo der Vorgang der Versteinerung sie überraschte. Die Verteilung leichter und schwerer Stoffe in der Kruste und dem Innern der Erde zeigt uns nun, daß der Ordnungsprozeß ziemlich fortgeschritten, aber noch nicht vollendet war, als die Erde fest wurde.

Die äußeren Erdschichten sind, da sie nicht in Decken eingewickelt waren, um die Wärme festzuhalten, schneller abgekühlt und daher zuerst fest geworden. Als sich das vollzogen hatte, bestand die Erde aus einer festen Rinde, die ein heißeres, gasförmiges und flüssiges, Innere umschloß — genau wie ein Apfelstrudel, bei dem sich unter einer täuschend kühlen Kruste manchmal eine Füllung versteckt, an der man sich den Mund verbrennt. Und genau wie bei einem Apfelstrudel, wenn man ihn sich selbst überläßt, folgte hierauf ein Zustand, bei welchem die inneren Schichten ebenfalls abzukühlen und wahrscheinlich auch zu schrumpfen begannen, denn die meisten Substanzen, und besonders Gase, ziehen sich zusammen, wenn sie kälter werden.

Die Kruste eines gewöhnlichen Apfelstrudels kann leicht ihr eigenes Gewicht tragen, aber die Kruste eines Apfelstrudels, der eine Million Tonnen wöge, könnte das nicht, und ebenso muß es mit der noch weit massiveren Erdrinde gegangen sein. Als die inneren Schichten sich von ihr zurückzogen und ihr Gewicht nicht mehr unterstützten, muß sie, um eine Unterlage zu finden, allmählich auf die inneren Schichten niedergesunken sein. Dabei sah sie sich aber dem Problem gegenüber, wie sie auf einmal kleiner werden sollte, obgleich sie schon aufgehört hatte, sich zusammenzuziehen; nun, sie half sich auf die einzig mögliche Art, indem sie nämlich Runzeln und Falten warf, genau wie ein Apfel, wenn sein weicheres Innere durch die Folgen des Alterns einschnurrt. Abbildung 5 auf Tafel II zeigt einen fast senkrechten Schnitt durch die Erde, welcher die Knitter und Falten von Schiefer- und Sandsteinschichten bloßlegt; und die Schichten des Urgesteins müssen sich auf ganz ähnliche Weise gefaltet haben.

So oder ähnlich bildete die Erde ihre Gebirgszüge und Täler aus. Der Vorgang ist noch nicht ganz beendet; die Erdoberfläche ist noch in leichter Bewegung, sie fällt hier ein und wird dort gehoben, so daß sich beständig neue Erhebungen und Vertiefungen bilden. Gelegentlich mag auch durch ein Erdbeben ein plötzlicher Einsturz zustandekommen, wie wir schon besprochen haben. Oder es mag geschehen, daß der stetige Druck

der fallenden oder gefallenen Rinde die heiße Materie des Inneren durch Risse und Spalten hinaufpreßt, bis sie aus der Erdoberfläche hervorbricht in Form von Vulkanen, Ölquellen, heißen Sprudeln oder Geisern. In den frühen Tagen der Erdgeschichte müssen sich solche Ereignisse mit unvergleichlich viel größerer Gewalt abgespielt haben; wir finden ihre unverkennbaren Spuren an den gegenwärtigen Verhältnissen.

Denn wenn es jetzt auch nur wenige Vulkane auf der Erde gibt, so ist doch die Anzahl der Berge, die ihren Merkmalen nach früher vulkanisch gewesen sind, außerordentlich groß. Ungeheure Ströme von Lava und geschmolzenem Gestein, die sie in längst vergangenen Zeitaltern ausgespien haben, bedecken noch große Teile der Erdoberfläche und bilden die Schichten des sogenannten vulkanischen Gesteins. Abbildung 6 zeigt einen Lavastrom in Ballantrae an der Ayrshireküste, der direkt ins Meer hinuntergeflossen und unmittelbar darauf in seiner gegenwärtigen „Kissenform" erstarrt sein muß, die er dann wohl 400 Millionen Jahre lang bis zum heutigen Tag behalten hat. Die Basaltfelsen des bekannten „Riesendamms" in Antrim (Irland) legen Zeugnis ab für einen ähnlichen Ausbruch geschmolzener Gesteine, die auf der Stelle in ihrer gegenwärtigen hexagonalen Form kristallisiert sein müssen. Diese Gesteinsmassen aus den Ausbrüchen urzeitlicher Vulkane geben uns gute Musterproben von den Substanzen im Erdinnern. Wasser und Gase müssen auf ähnliche Art hinaufgepreßt sein und haben natürlich ihren Beitrag zu den Meeren und der Atmosphäre der Erde geliefert.

Als die Erdrinde auf die schrumpfende innere Masse abstürzte, haben sich ihre Runzeln nicht ganz aufs Geratewohl gebildet. Denn es ist nicht wahrscheinlich, daß die Rinde von vollkommen gleichförmiger Beschaffenheit war, sie wird vielmehr aus leichteren und schwereren Teilen bestanden haben. Im großen ganzen werden die leichteren Bestandteile hinaufgeworfen sein und die Bergrücken gebildet haben, während die schwereren eine Neigung hatten, auf den Boden der Falten zu sinken, wo sie die Täler und den Meeresgrund bildeten. Demnach sollten wir erwarten, daß die Berge aus leichterer Substanz bestehen als der Meeresboden, das heißt von geringerem Gewicht pro Kubikmeter sind. Und neuere sorgfältige Messungen haben gezeigt, daß dies tatsächlich der Fall ist.

Nun muß man sich nicht vorstellen, daß der Geologe seine Gebirge und Meeresgründe untersucht, indem er hier und da einen Kubikmeter als Probe aussticht; diese Methode wäre zu grob für die Berge und unmöglich für den Meeresgrund. In früheren Zeiten nahm er ein langes Pendel — nicht unähnlich dem einer alten Standuhr, nur daß es mit äußerster wissenschaftlicher Präzision gearbeitet war — auf eine Bergspitze mit und suchte die Struktur des Berges aus dem Verhalten des Pendels zu ergründen. In neuerer Zeit hat man das Pendel durch ein sinnreicheres Instrument ersetzt, aber das allgemeine Prinzip, das seiner Anwendung zugrunde liegt, ist im wesentlichen dasselbe geblieben.

Der Gipfel eines Berges ist weiter vom Erdmittelpunkt entfernt als die Ebene unter ihm, und das bewirkt, daß die Erdanziehung dort weniger stark ist. Wenn man daher dort oben ein Pendel anstößt und in

Schwingung versetzt, bewegt sein Gewicht sich langsamer in seine tiefste Lage und braucht also längere Zeit, um sie zu erreichen, als es unten in der Ebene täte. Mit anderen Worten: ein Pendel, das auf die Spitze eines Berges gebracht wird, fängt an, Zeit zu verlieren. Man kann genau berechnen, wieviel es nachgehen würde, wenn der Berg die mittlere Zusammensetzung der Erdrinde besäße; und immer wenn es etwas mehr Zeit verliert, ersehen wir daraus, daß der Berg leichter ist als der Durchschnitt. Wenn das Pendel in einem Unterseeboot auf den Meeresgrund gebracht wird, haben wir genau die umgekehrten Verhältnisse; falls es mehr Zeit gewinnt, als es täte, wenn der Meeresboden von durchschnittlicher Beschaffenheit wäre, zeigt es damit an, daß er aus schwererer Materie besteht als der Durchschnitt.

In jüngster Zeit hat eine neue Theorie, die der sogenannten Isostasie, allen diesen Vorstellungen größere Genauigkeit gegeben. Hiernach sollen, kurz gesagt, die Berge aus dem Niveau des Landes hervorragen aus demselben Grund, aus welchem Schiffe aus dem Meeresniveau herausragen — weil sie schwimmen. Die Theorie nimmt weiter an, daß das Totalgewicht eines Berges, ebenso wie bei einem Schiff, die Höhe bestimmt, bis zu welcher er eintaucht. Ein Schiff, dessen Totalgewicht, mit Rumpf, Ladung, Mannschaft, Kapitän und allem, 30 000 t beträgt, wird so tief eintauchen, daß es genau 30 000 t Wasser verdrängt; mit anderen Worten, es würde, wenn man es plötzlich aus dem Wasser höbe, ein Loch hinterlassen, zu dessen Ausfüllung 30 000 t Wasser nötig wären. Das folgt aus dem Prinzip,

welches vor 2200 Jahren von Archimedes entdeckt wurde.

Die Theorie der Isostasie nun nimmt an, daß die Höhe, bis zu der die Berge aufragen, in genau derselben Weise bestimmt wird. Natürlich läßt sie die Berge nicht in Wasser oder in irgendeiner wirklichen Flüssigkeit schwimmen, sondern in einer inneren Schicht der Erdmasse, welche schmiegsam genug ist, um sich wie eine Flüssigkeit zu verhalten. Gewöhnlicher Teer, das wissen wir, sieht aus wie eine feste Masse, gibt aber einem lang anhaltenden Druck ebenso nach wie eine Flüssigkeit einem momentanen. Teer ist plastisch genug, um in einigen Stunden oder Tagen nachzugeben, Eis tut es in Monaten oder Jahren (wie wir am Fluß der Gletscher sehen) und Glas in Jahren oder Jahrhunderten. Der Stoff, mit dem wir es hier zu tun haben, erfüllt seinen Zweck, wenn er sich als bildsam erweist in Millionen von Jahren. Aus verschiedenen Rechnungen geht hervor, daß wir bis zu einer Tiefe von etwa 32 km hinabsteigen müssen, um auf diese plastische Schicht zu stoßen. Nun wissen wir aus unserer täglichen Erfahrung, daß Teer und andere Substanzen bildsamer werden, das heißt leichter fließen, wenn man sie erhitzt; dasselbe wird für die Substanz der Erdrinde gelten, so daß die Hitze in einer Tiefe von 32 km sehr wohl hinreichen mag, um ihr den geringen Grad von Geschmeidigkeit zu geben, der erforderlich ist. Nach der Theorie soll ein Berg, der eine Billion Tonnen wiegt, gerade so hoch über der Erdoberfläche schwimmen, daß er eine Million Millionen Tonnen von dieser plastischen inneren Schicht

verdrängt. Die geistreichsten und sorgfältigsten Messungen, deren die Wissenschaft fähig ist, bestätigen in der Tat, daß diese Theorie genaue Rechenschaft von den beobachteten Berghöhen zu geben vermag.

Ich muß hier ein wenig abschweifen und von einer neueren, von dem deutschen Gelehrten Wegener auf-

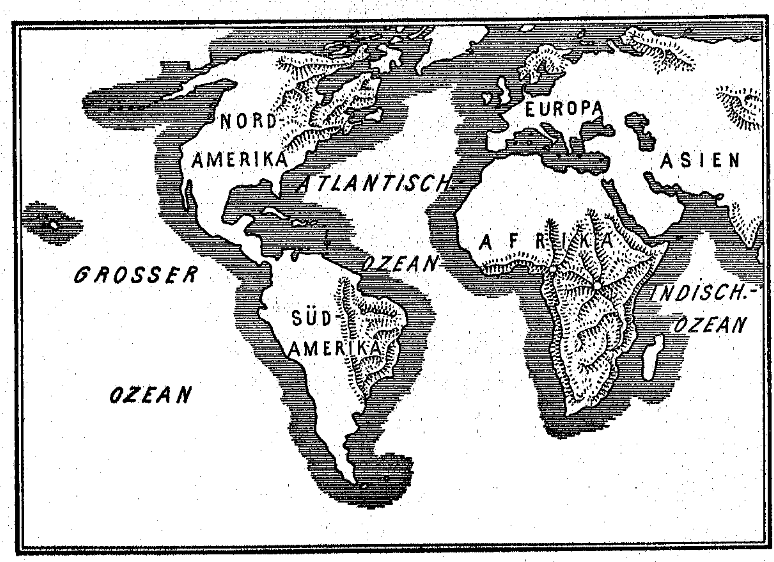


Abb. 7 a. Die Kontinente in ihren gegenwärtigen Lageverhältnissen, mit den mächtigen Felsmassiven, von denen man annimmt, daß sie in der Urzeit darauf vorhanden waren

gestellten Theorie sprechen, die vielleicht noch interessanter, wenn auch unter den Wissenschaftlern noch nicht so allgemein anerkannt ist. Nach dieser Theorie schwimmen nicht nur die Berge, sondern auch die Erdteile und größeren Inseln wie frei bewegliche Schiffe, die sich einander nähern und voneinander entfernen können. Die Alte und die Neue Welt sollen hiernach

ursprünglich ein einziges gewaltiges Schiff gewesen sein, das Schiffbruch litt und zerbarst, worauf die beiden Stücke auseinandertrieben und auf der einen Seite Afrika und Europa, auf der anderen den amerikanischen Kontinent bildeten. Als Beweis führt man an, daß die Neue Welt, wenn ein Schlepper käme und sie

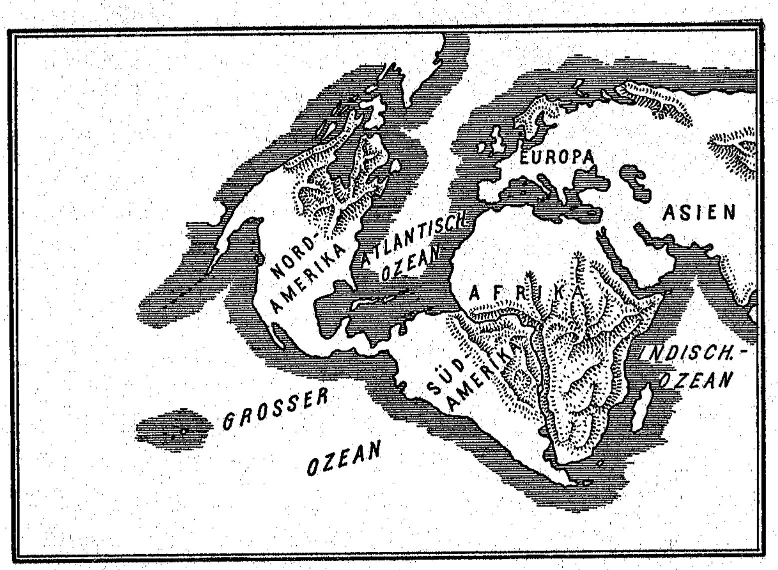


Abb. 7 b. Nach der Wegenerschen Theorie befanden die urzeitlichen Kontinente sich nicht in ihrer gegenwärtigen Lage, sondern bildeten ein zusammenhängendes Festland

etwa 5000 km nach Ost-Nord-Ost hinüberzöge, vorzüglich in die Alte Welt hineinpaßte; dabei würde die Stelle Brasiliens, wo Pernambuko liegt, sich in den Busen von Kamerun an der afrikanischen Küste hineinschieben, wie es, allerdings nur unzulänglich, auf den Karten der Abbildungen 7 a und 7 b zur Anschauung gebracht wird. Wir können dies genaue Zusammenstimmen nicht als

einen puren Zufall abtun, denn auf den beiden Seiten des Atlantik sind nicht nur die Küstenlinien einander ähnlich, sondern auch die Gebirge, die Gesteine und sogar die Fossilien. Aus diesem Grunde haben die Geologen lange vermutet, daß die beiden Kontinente einmal eine einzige Masse bildeten; die Wegenersche Theorie liefert eine Erklärung dafür, wie es zu einer Trennung kam. Wenn Nordamerika noch ein wenig weiter nach Osten geschoben wird, läßt es sich recht gut mit Europa zusammenpassen, wobei sich Neuengland gerade an unser altes England anlegt. Wegener glaubt, daß auf dieselbe Weise alles Land, das vor ein paar hundert Millionen Jahren aus dem Meer aufragte, zu einem ununterbrochenen Kontinent zusammengefügt werden kann, welcher über ein Drittel der Erdoberfläche bedecken würde.

Abgesehen von allen Theorien und Hypothesen wissen wir, daß die Höhe der Gebirge und selbst der Kontinente keine ein für allemal feststehende Größe ist. Wenn wir einen Berg besteigen, erwarten wir wohl gelegentlich einen Stein hinunterrollen zu sehen, aber wir wären baß erstaunt, wenn einer hinaufrollen wollte. Regen, Schnee, Eis und selbst der Wind spalten und lockern beständig das Gestein an den Bergwänden, bis schließlich große Stücke abbrechen und zu Tal poltern, so daß mächtige Felsblöcke, Schutthalden und Steingeröll aller Art zu den vertrauten Zügen im Antlitz einer Berglandschaft gehören. Abbildung 8 zeigt die Schuttanhäufungen am Fuß der verhältnismäßig niedrigen Berge auf der Ostseite von Wastwater in Cumberland. Auf den Gipfeln höherer Gebirge fällt Schnee und wird zu Gletschern, die langsam ins Tal hinunterfließen und gewaltige Mengen großer Steine und Felstrümmer mit sich führen. In den Vorbergen fällt Regen und verunreinigt die Bergbäche mit Erde, die von den Hügelhängen abgewaschen und ins Meer hinuntergetragen wird. Überall sehen wir, wie der Baustoff der Gebirge auf den Meeresboden geschwemmt wird, ein Vorgang, der in Richtung auf eine Abflachung der Berge und Aufhöhung des Meeresgrundes wirkt.

Die Theorie der Isostasie zeigt einen Weg, auf welchem diese allgemeine Einebnung wenigstens teilweise ausgeglichen werden kann. Denn wenn das Gestein des Berges fortgewaschen wird, verliert der Berg an Gewicht, taucht dadurch weniger weit ein und gewinnt so einen Teil seiner verlorenen Höhe zurück. Der Meeresboden andererseits, beschwert durch die schlammigen Ablagerungen, welche ihm die Flüsse zuführen, sinkt tiefer und verliert auf diese Weise wieder einen Teil der zusätzlichen Höhe, welche die Sedimente ihm sonst gegeben hätten.

Diese unaufhörlichen Niveauausgleiche bringen, zusammen mit anderen Ursachen, alle möglichen Arten von Senkungen und Hebungen in den Oberflächenschichten der Erde hervor; ein ganzer Kontinent mag im Meer verschwinden oder ein neuer aus der Tiefe des Ozeans auftauchen und Festland werden. Im 6. Jahrhundert v. Chr. berichtet der Grieche Xenophanes, daß man Muscheln weit landeinwärts und sogar hoch oben im Gebirge gefunden habe und daß Abdrücke, das heißt Fossilien, von Fischen und Seegras in den Steinbrüchen von Syrakus vorkämen. Aber es genügt schon eine räumlich und zeitlich weniger weite Reise als ins

alte Griechenland, um uns Spuren dieses Prozesses zu zeigen; sie begegnen uns überall und besonders in den Kreidehügeln um London, in denen es wimmelt von Fossilien und den Schalen winziger Seetiere. Diese Gegenden müssen einmal der Boden eines Meeres gewesen sein, das kaum weniger tief war als die Mitte des heutigen Atlantik. Und ebenso können wir rings um unsere Küsten versunkene Wälder, ja Überreste tierischen Lebens unter Wasser finden.

Den Prozeß, durch welchen Gesteine und Erde von den Berggipfeln fortgetragen werden, bezeichnen wir als Abtragung und ihre Ausscheidung in Tälern und Flußbetten als sedimentäre Anschwemmung. Diese Ablagerungen haben die sedimentären Schichten gebildet, die wir vorhin mit den Staubschichten auf einem Apfel verglichen. Die verschiedenen Sedimentschichten würden, wenn keine Senkungen, Hebungen und allgemeinen Niveauausgleiche sie störten, vollkommen gleichmäßig abgelagert werden und horizontal übereinanderliegen wie die Blätter eines Buches auf einem waagerechten Pult. Wir kennen in der Tat weite Gebiete des Erdballs, wo die verschiedenen Schichten auf diese Weise regelmäßig übereinanderliegen — in einem großen Teil des östlichen Kanada und östlichen Sibirien, der baltischen Küste und Westrußlands, in den Resten des sogenannten Gondwana-Landes, jenes untergegangenen Kontinents, der den größten Teil Südafrikas und des östlichen Südamerika umfaßte (vgl. Abbildung 7 b), in Arabien und Indien. In einem weit kleineren Maßstab können wir solche waagerechte Anordnung von verschiedenen Gesteins- oder Sandschichten gelegentlich

bei einem Eisenbahn- oder Wegdurchstich oder an Klippen an der Küste oder an einem Berg im Binnenland beobachten, wie ihn Abbildung 9 auf Tafel III zeigt. Die Geologen bezeichnen solche Schichten als Strata. Tafel IV, Abbildung 10, stellt einen Durchbruch von gewaltigem Ausmaß dar — den Colorado Canyon in den Vereinigten Staaten. Er ist nicht von der Art, wie Menschen ihn in einigen Tagen vollenden; die Natur hat ihn in Millionen von Jahren geschaffen. Jahr auf Jahr und Jahrhundert nach Jahrhundert hat der Kolorado-Fluß sich seinen Weg in die Erde hineingefressen und dabei die weichen Bestandteile ausgewaschen und ins Meer geschwemmt. Jetzt sehen wir die freigelegten Schichten bis zu einer Tiefe von über 1800 m; dem flüchtigen Betrachter erscheinen die meisten Schichten so gut wie horizontal, der geschulte Geologe allerdings findet stellenweise Zeugen für Hebungen, Kippungen und sogar für Einbrüche unter der See.

An anderen Orten mag keine allgemeine Hebung oder Senkung vorliegen, aber die Erdrinde ist an einer Stelle abgebrochen, und die Flanken der Bruchstelle haben sich übereinandergeschoben, so daß die Strata nicht mehr gerade weiterlaufen, sondern eine sogenannte Verwerfung bilden (Abbildung 13).

Wenn ein Fluß wie der Kolorado sich sein Bett durch England genagt hätte, besäßen wir statt der Abbildung 10 jetzt eine Ansicht der verschiedenen Gesteinsschichten unter dem englischen Boden. Wir haben keinen Fluß, der uns diesen Dienst erwiese, aber ein Studium der Oberflächenformationen, bereichert um die Kenntnisse, welche sich aus Bohrungen und Grabungen an

geeigneten Stellen ergeben, setzen den Geologen instand, eine Karte des englischen Bodens zu entwerfen, die kaum weniger gut und zuverlässig ist als ein Querschnitt, der dank eines tatsächlichen Durchstichs freigelegt wird. Abbildung 11 zeigt eine solche Karte; man sieht darauf die Schichtungen längs einer quer durch England und Wales vom Snowdon bis Harwich gezogenen Linie, die auf einer Strecke von etwa 350 km annähernd westöstlich verläuft.

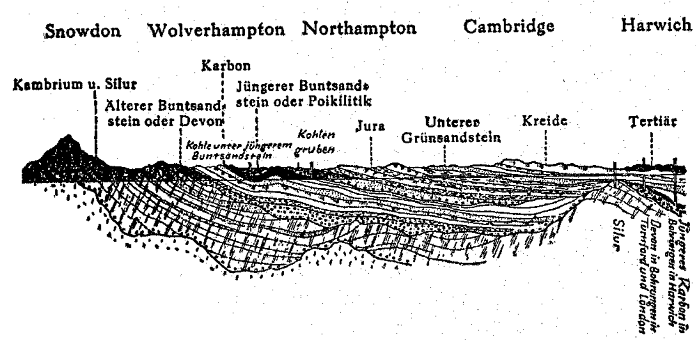


Abb. 11. Schematische Darstellung eines Schnitts durch die geologischen Schichten längs einer Linie, die Großbritannien vom Snowdon bis Harwich in einer Länge von etwa 350 km durchquert. Man sieht die Faltung der tieferen Schichten und die Abtragung der durch eine Hebung an die Oberfläche gelangten Teile

Mögen diese geologischen Schichten in anderen Weltteilen aussehen wie immer, in unserem eigenen Land liegen sie jedenfalls nicht mehr flach übereinander wie Buchseiten, sondern sind durch Niveauumlagerungen der früher beschriebenen Art gekippt und verdrückt worden. Wir erkennen deutlich eine allgemeine Kippbewegung, die den Osten gesenkt und den Westen gehoben hat, wenn auch stellenweise ausgeprägte lokale

Abweichungen vorkommen. Nahe dem Ost-Ende unserer Linie zum Beispiel hat eine unterirdische Hebung Gesteine bis dicht unter die Oberfläche gebracht, die einige tausend Meter tiefer liegen sollten. Dies Aufrichten der Schichten hat jedoch keine entsprechende Neigung an der Oberfläche des Bodens zur Folge gehabt, da die Teile, die zu oberst angestanden hätten, alle fortgewaschen sind. Wenn wir bei unserem Vergleich der verschiedenen Schichten mit den Seiten eines Buches bleiben, müssen wir uns vorstellen, daß das ganze Buch nicht nur übel verbogen und zerrissen ist, sondern daß große Teile davon weggeschabt sind. Die Abtragung spielt eine solche Rolle, daß die Erdoberfläche einen nahezu horizontalen Schnitt durch das gekippte Buch darstellt und wir England nur von Osten nach Westen zu durchreisen brauchen, um nacheinander Beispiele der verschiedenen Blätter in ihrer richtigen Reihenfolge zu bekommen.

In Abbildung 11 mußten die sukzessiven geologischen Schichten in so kleinem Maßstab vorgeführt werden, daß viele Einzelheiten nicht zur Darstellung gekommen sind. Abbildung 12 zeigt eine detailliertere Karte eines kürzeren Abschnitts von etwa 110 km, der sich in nordsüdlicher Richtung unter London hinzieht. Hier bemerken wir weder im Norden noch im Süden ein ausgesprochenes Kippen; der auffälligste Zug ist ein allgemeines Durchhängen unserer Buchblätter. Wir sehen, daß London auf Lehmboden liegt, unter welchem die Falten einer Kreideschicht in einer gleichmäßigen Dicke von etwa 200 m hinlaufen. Wir sahen schon, daß dies einmal der Grund eines tiefen Meeres war und können

uns unschwer die Geschichte der späteren Ereignisse zusammenreimen. Zuerst eine unterirdische Hebung, so daß der ebene Meeresboden hügeliges Festland wird; dann Wasser, das von dem immer noch höher gelegenen Lehmland im Westen durch diese Kreidegegend strömt; dann ein breiter Fluß, der allmählich Lehm ablagert und so das Flußbett teilweise auffüllt, die höheren Kreidehügel aber unverändert läßt; als nächstes eine Ansiedelung primitiver Menschen an einem geeigneten Fleck nahe der Flußböschung; schließlich das London, das wir kennen, selbst auf Lehm gelegen, aber von

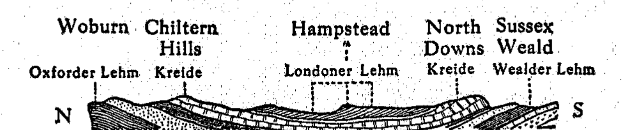


Abb. 12. Ein ähnlicher Schnitt wie der in Abbildung 11; er läuft annähernd nordsüdlich von Woburn bis Sussex Weald unter London durch

Kreidehügeln umgeben, die sich im Süden von den weißen Klippen von Dover bis an die Hügel von Guildford und darüber hinaus zu dem Hog's Back ausdehnen, um nördlich der Themse bei Henley wieder aufzutauchen und über die Chiltern Hills bis zu den Kreidehügeln von Hertfordshire und Cambridgeshire fortzugehen.

Selbst diese Karte zeigt uns die Verzerrung geologischer Schichten noch an einem ziemlich ausgedehnten Stück; aber genau dasselbe läßt sich oft an einer Gesteinsprobe von wenigen Zentimetern Dicke, ja manchmal an den hauchdünnen Schnitten mikroskopischer Täfelchen beobachten.

Die wahre Bedeutung dieses Buches mit seinen gekippten Seiten liegt aber darin, daß es im Grunde ein Geschichtsbuch ist. Wie verbogen und zerknittert seine Blätter jetzt auch sein mögen, ursprünglich ist ein jedes in seiner ganzen Länge und Breite zu einem bestimmten Zeitpunkt oder doch wenigstens innerhalb eines bestimmten Zeitalters hingebreitet worden, und in ihm begraben ruht eine Geschichte jenes Zeitalters.

Um das zu verstehen, wollen wir unsere Gedanken von der Themse zum Nil wandern lassen. Jahraus, jahrein überflutet der Nil die Felder von Unterägypten, und wenn er zurücktritt, hat das Niveau Ägyptens sich um den Bruchteil eines Zentimeters gehoben durch die Ablagerungen, die er hinterlassen hat. Wenn wir 30 cm in diese Ablagerungen hinuntergraben, finden wir Gegenstände, die vor 500 Jahren auf dem Boden Ägyptens verloren oder zurückgelassen sind; einen Meter tiefer stoßen wir auf solche, die seit Christi Geburt dort gelegen haben müssen. So birgt der ägyptische Boden in der Tat ein geschichtetes Zeugnis und im wörtlichsten Sinn die „Geschichte" Ägyptens; wollen wir im Buch seiner Vergangenheit blättern, so brauchen wir nur in seinem Boden zu graben. Münzen und Inschriften belehren uns über das Aussehen und die Taten der Könige; Geräte des täglichen Gebrauchs, Waffen und Werkzeuge erwecken das Leben des Volkes für uns.

Auf dieselbe Weise können wir andere Teile der Erdoberfläche behandeln, nur daß natürlich einer Ablagerung von 30 cm nicht überall 500 Geschichtsjahre entsprechen. Die Ablagerung ist an verschiedenen Orten mit verschiedener Geschwindigkeit vor sich gegangen.

Auch ist die Reihenfolge der einzelnen Seiten der Geschichte nicht überall gleichmäßig gewahrt; an manchen Stellen sind die Seiten unseres Buches zerknittert und allgemein verschoben durch Verwerfungen, Senkungen oder Hebungen der Erdkruste. Und das ist in gewisser Weise recht günstig, denn wenn alle Seiten flach übereinander geschichtet wären, müßten wir über 180 km tief graben, um die unterste zu erreichen. Während wir, so wie die Dinge liegen, nicht selten auf untere Schichten stoßen können durch Bohrungen bis zu geringen Tiefen, manchmal sogar durch bloße Wanderungen über die Erdoberfläche.

Wenn wir uns diese Schichten der Reihe nach vergegenwärtigen, sei es auch nur indem wir offenen Auges über die Erdoberfläche hinwandern, blättern wir wiederum die Seiten eines großen Geschichtsbuches um — aber jetzt ist es nicht mehr die Geschichte Ägyptens, sondern die Geschichte der Erde selbst, deren mannigfaltige Gestalten an uns vorüberziehen. Zuerst lesen wir von hohen Kulturen, aus denen Münzen und Inschriften auf uns gekommen sind; dann von prähistorischen Völkern, die Geräte und Waffen aus Metall und Feuerstein hinterließen und daneben manchmal die Knochen von Tieren, die sie jagten. Weiter stoßen wir auf die Zeugnisse affenartiger Menschen, welche nichts zu hinterlassen hatten als ihre eigenen toten Körper, die im Lauf der Zeit zu Skeletten geworden sind. Dann kommt die Welt vor dem Auftreten des Menschen, eine Welt, von der nichts übriggeblieben ist als die Knochengerüste spukhafter und ungestalter Riesentiere; dann nur noch Fossilien von Reptilen, Fischen und Pflanzen. Zuletzt

das Reich des Anorganischen, Wasser, Stein und Erde. Es wäre schon spannend genug, nur die Aufeinanderfolge der Ereignisse in jener fernen Vergangenheit zu kennen, selbst wenn wir sie nicht genau datieren könnten; manche Leute finden, daß Jahreszahlen nicht der aufregendste Teil der Geschichte sind. Aber der Grund ihrer Unbeliebtheit auf der Schule war vielleicht, daß wir sie mit solcher mathematischen Genauigkeit im Kopf haben sollten. Es war ganz lustig zu lesen, wie König Johann vor siebenhundert Jahren gezwungen wurde, die Magna Charta zu unterzeichnen, wozu er wenig Neigung hatte, aber es war höchst langweilig, daß man sich sein Gedächtnis mit der Zahl 1215 belasten mußte.

Nun haben die Physiker kürzlich Mittel und Wege gefunden, um die Seiten des Erdgeschichtsbuches zu datieren, und zwar auf die hübscheste Art — gerade genau genug, um interessant, aber nicht genau genug, um eine Bürde zu sein.

Wir haben alle schon Uhren gesehen, deren Zeiger im Dunkeln erkennbar sind, weil sie einen Radiumanstrich haben. Sie scheinen mit einem stetigen Licht zu leuchten, aber bei sorgfältiger Prüfung mit feinen Instrumenten stellt sich heraus, daß das Licht in Wirklichkeit nicht so stetig ist, wie es aussieht; es rührt von Myriaden einzelner Explosionen her, deren jede durch den Tod eines Radiumatoms erzeugt wird — oder wir sollten lieber sagen durch seine Verwandlung, denn das Radiumatom hört nicht ganz auf zu existieren, sondern läßt als Zeugnis seiner früheren Existenz ein Atom von einer besonderen Bleiart zurück. Diese Umwandlung von Radium

in Blei erfolgt unabänderlich in absolut gleichbleibenden Beträgen, die wir im Laboratorium messen können. Wenn wir also feststellen können, wieviel Radium und wieviel Blei in den Zeigern einer solchen Uhr vorhanden ist, können wir sagen, wie alt die Uhr ist.

Nun wohl, auf dieselbe Art können wir das Alter der Gesteine in der Erdrinde bestimmen.

Wenn wir dünne Schnitte von Substanzen wie Glimmerschiefer oder Turmalin unter dem Mikroskop untersuchen, finden wir zuweilen eine Erscheinung, die man als pleochroïschen Halo bezeichnet, das heißt einen leuchtenden Hof aus konzentrischen farbigen Ringen, wie er in Abbildung 14 auf Tafel V dargestellt ist. Im Mittelpunkt dieser Lichterscheinung befindet sich immer eine Spur von einer radioaktiven Substanz, welche in derselben gleichförmigen und unveränderlichen Art zerfällt wie Radium, nur sehr viel langsamer; es kann sich um Uran oder Thorium oder eine Mischung aus beiden handeln. Die Ringe des Hofes sind durch den Zerfall dieser radioaktiven Substanz erzeugt. Ähnliche Ringe können künstlich im Laboratorium hergestellt werden, so daß die Weise ihrer Bildung gut bekannt ist. Man hat gefunden, daß die Farbe der Leuchtkreise sich vertieft mit fortschreitendem Alter, so daß es oft möglich ist, das Alter eines Gesteins einfach aus dem allgemeinen Aussehen der darin enthaltenen Halos zu schätzen.

Es gibt jedoch viele Gesteinsarten, die Uranium oder Thorium enthalten, ohne irgendwelche Halos aufzuweisen. Dann kann die chemische Analyse genau angeben, in welchem Maß die betreffenden Substanzen

zerfallen sind, und wir können daraus auf das Alter der Gesteine schließen — genau wie bei den Zeigern der Uhr. So hat man zum Beispiel in Ostkanada viele Proben des sogenannten Pegmatit, eines grobkörnigen Granits, untersucht, und alle zeigen übereinstimmend, daß diese Gesteine vor etwa 1230 Millionen Jahren erstarrt sind. Andere Gesteine scheinen noch etwas, aber niemals sehr viel älter zu sein; und im allgemeinen ist es nicht möglich, die Bestimmung auch nur annähernd mit diesem Grad von Genauigkeit durchzuführen.

So können wir sagen, daß der Pegmatit das früheste Blatt unseres Geschichtsbuches darstellt, auf dem ein genaues und unverkennbares Datum eingetragen ist. Auf dieser Seite lesen wir, daß die Erde vor 1230 Millionen Jahren eine starre Kruste hatte, über welche Flüsse flossen, die Schlamm und Sand ins Meer spülten. Noch tiefer liegende undatierte Seiten erzählen von früheren Vorgängen der Abkühlung und Erstarrung, von denen wir nicht wissen, wie lange sie dauerten, aber sie müssen sich über viele Millionen Jahre erstreckt haben, so daß die Erde kaum weniger als 1500 Millionen Jahre alt sein kann.

Sie kann aber auch nicht sehr viel älter sein, denn sonst wären heute alle ihre radioaktiven Substanzen zerfallen und verschwunden und die Erscheinung der Radioaktivität wäre uns ebenso unbekannt, wie sie wahrscheinlich für die Wesen sein wird — falls es solche gibt —, die einige Milliarden Jahre nach uns auf der Erde leben. Wenn radioaktive Substanzen sich nicht auf irgendeine, uns gegenwärtig unbekannte Art zu erneuern vermögen, folgt aus eingehenden Unter-

suchungen, daß das Alter der Erde nicht höher sein kann als 3400 Millionen Jahre und wahrscheinlich um ein Beträchtliches geringer ist.

Irgendwo zwischen diesen Grenzen — 1500 Millionen Jahren und 3400 Millionen Jahren — muß das Alter der Erde liegen. Das sicherste ist, daß wir uns an runde Zahlen halten und etwa mit 2000 Millionen Jahren rechnen. Das ist mehr als das Hunderttausendfache der ganzen überlieferten Geschichte der Menschheit und über eine Million mal länger als die christliche Ära. Es ist nicht leicht, sich eine Vorstellung von solchen Zahlen zu machen, aber es ist vielleicht eine gewisse Hilfe, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß ein Buch von ansehnlichem Format eine Million Buchstaben enthält — ein Buch, sagen wir von 500 Seiten mit 330 Worten auf jeder Seite und durchschnittlich sechs Buchstaben pro Wort. Wenn wir ein solches Buch das Alter der Erde darstellen lassen, dann entspricht der ganzen überlieferten Menschheitsgeschichte das letzte Wort und der ganzen christlichen Ära weniger als der letzte Buchstabe in dem Buch. Im Raum dieses letzten Buchstabens ist das römische Reich aufgestiegen und untergegangen, hat das Christentum sich über den Erdball verbreitet, haben die Reiche Westeuropas sich aus den wilden Ländern, die Cäsar beschrieb, zu ihrem heutigen Zustand entwickelt, sind über 60 Generationen von Menschen geboren und gestorben. Mein und meiner Leser ganzes Leben findet sein Abbild in weniger als dem Gedankenstrich am Ende oder dem Punkt über dem kleinsten „i" dieses Buches.

Wollen wir weiter in der Zeit zurücklesen als bis zu

dem allerletzten Wort, so muß die Erdkruste unser Geschichtsbuch sein und ihre Gesteins- und Erdschichten unsere Seiten. Viele davon sind zerknüllt im Lauf der Zeit, aber sie sind noch in der richtigen Weise angeordnet und hier und da sind einige von ihnen datiert. Wir wollen uns vorstellen, daß wir sie glattstreichen und dann, eins nach dem anderen umwendend, soviel wir können von der Geschichte unserer Erde zu entziffern versuchen.

Wir beginnen etwa vor 2000 Millionen Jahren, und viele hundert Millionen Jahre lang sehen wir eine leblose Erde, die sich abkühlt und zusammenzieht. Seite um Seite berichtet nur von geologischer Tätigkeit, bis wir irgendwo in der Gegend der Seite „vor 1230 Millionen Jahren" von Sedimenten zu lesen beginnen, die Spuren von Kohle enthalten. Einige Geologen sehen hierin ein mutmaßliches Zeugnis dafür, daß schon damals irgendeine Art Leben, möglicherweise von der bescheidensten und niedrigsten Sorte, im Meer vorkam; das Leben hatte seinen Einzug gehalten auf der Erde. Wieder blättern wir Seite nach Seite um und lesen nur von geologischen Ereignissen — stetiger Ablagerung von Sedimenten, die nur durch Katastrophen und Hebungen unterbrochen wird —, bis wir schließlich irgendwann zwischen der Zeit vor 1000 und 500 Millionen Jahren auf fossile Reste stoßen, bloße Einschlüsse im Gestein (Abbildung 15), welche die Geologen als deutliche Überbleibsel von Leben, wenn auch von Leben der primitivsten Art, deuten. Und wieder gleiten Äonen an uns vorüber, bis in einer Zeit, die etwa 500 bis 400 Millionen Jahre zurückliegt, das Leben

mannigfaltiger und reicher zu werden beginnt. Wir finden sogar Fossilien von Würmern, Quallen und anderen primitiven Lebensformen, die nicht so ungeheuer verschieden von den heute lebenden sind (Abbildung 16).

Abermals rollen Millionen von Jahren ab, bis wir eine Seite unseres Buches aufschlagen, auf welcher die Bilder — die Fossilien — sehr ähnlich aussehen wie unsere heutigen Pflanzen. Aber sie sehen nur aus wie Pflanzen, es sind keine, denn sie lebten auf dem Grund des Meeres; sie standen unseren Seeanemonen und sogar den Seesternen näher als Pflanzen (Abbildung 17). Kurz darauf jedoch beginnt das Leben langsam das Festland zu erobern, wir stoßen auf die ersten Fossilien echter Gräser und farnartiger Gewächse. Wie der Pflanzenwuchs sich vermannigfaltigt, sehen wir die Erde allmählich ein ihrer gegenwärtigen Erscheinung einigermaßen ähnliches Aussehen annehmen. Die Wurzeln der Gräser befestigen die Sand- und Erdeteilchen und bilden einen festen Boden, während Tiere erscheinen, welche die Pflanzen fressen, und ihrerseits von anderen Tieren gefressen werden. Dies war der Anfang des Zeitalters, in welchem Riesenreptile die Erde beherrschten. Typisch für die ältesten Geschöpfe dieser Art war das Dimetrodon Gigas (Abbildung 18), eine fleischfressende Rieseneidechse, von der man annimmt, daß sie vor 250 Millionen Jahren in Nordamerika gelebt hat.

Die bescheideneren Formen des Lebens, wie die in Abbildung 16 dargestellten Würmer, Quallen und Schwämme, haben sich ohne irgendwelche bedeutenden Änderungen von jener grauen Urzeit bis zum heutigen Tag erhalten, aber den vielfältigeren Formen war

es bestimmt, alle Arten von Verwandlungen durchzumachen.

Denn wenn wir in unserem Buch weiterlesen, kommen wir zu Seiten, über welche die Geologen „Permische Formation“ und „Triasformation“ geschrieben haben, und die Physiker „vor etwa 200 Millionen Jahren“. Hier lesen wir von großen Hebungen, welche die Oberfläche der Erde vollständig veränderten. Auf der nördlichen Halbkugel wurden die meisten Meere einschließlich des heutigen Atlantischen und Indischen Ozeans Festland, und nur ein Teil des Pazifischen Ozeans blieb vom Wasser bedeckt. Auf der südlichen Halbkugel tauchte der große Kontinent, welchen die Geologen als Gondwana-Land bezeichnen, aus dem Meer auf und nahm den ganzen Raum von dem östlichen Südamerika durch Afrika bis Australien ein. Die Geologen zeigen uns kleine Vertiefungen im Gestein, wo die Fischfossilien zusammengepackt sind wie die Heringe in der Tonne, gleich als hätten sie die letzten Augenblicke ihres Lebens damit verbracht, sich an den Stellen zusammenzudrängen, wo ein paar Wassertropfen ihnen noch eine Zuflucht gewährten, ehe auch sie verdunsteten. Da nur noch eine so kleine Meeresoberfläche da war, um die Luft mit Feuchtigkeit zu versorgen, nahm die Regenmenge ab und der größere Teil der Welt wurde Wüste. Insbesondere lesen wir, daß die Meere Nordeuropas zu Salzseen zusammenschrumpften, die salziger und salziger wurden in dem Maße wie die Trockenheit wuchs, bis sie endlich ganz austrockneten und große Steinsalzlager hinterließen.

Dann beginnt die Trockenheit nachzulassen, aber viele Lebensformen tauchen auf den späteren Seiten des großen Buches nicht wieder auf. Sie müssen in der Dürre umgekommen sein; und das ist nicht verwunderlich, da ja nur diejenigen Aussicht auf Rettung hatten, die sich schnell den neuen Bedingungen anzupassen vermochten. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 19 (Cacops Aspidophorus oder der grimmgesichtige Schildträger), ein unternehmendes, aber nicht besonders liebliches Reptil, das es irgendwie fertigbrachte, sein Leben auf dem Festland zu fristen, nachdem die Meere ausgetrocknet waren.

Weiterhin kommen wir zu Seiten, die als „Juraformation" bezeichet werden und Daten tragen „vor 150 bis 100 Millionen Jahren". Sie berichten uns, daß das Meer wieder die versengten Wüsten überflutete, die Feuchtigkeit zurückkehrte und die Erde abermals zu einer Heimstätte des Lebens wurde. Die Reptilien, welche die große Dürre überlebten, verteilen sich aufs neue über Land und Meer und bevölkern sogar die Luft, denn wir gelangen in unserem Geschichtsbuch nunmehr zu jenen Seiten, auf welchen zuerst die Fossilien geflügelter Geschöpfe erscheinen — unheimlicher, mißgestalteter Vögel, einige mit Zähnen, andere mit zahnlosen Schnäbeln.

Viele von den Tieren, welche zu jener Zeit auf der Erde lebten, waren verfehlte und mißlungene Versuche, ungeeignet, den großen Kampf ums Dasein zu bestehen, wenn es einer ganzen Anzahl von ihnen auch gelang, sich viele Jahre lang am Leben zu erhalten, bevor diese Tatsache sich ihnen unerbittlich aufdrängte.

Die Abbildungen 20, 21, 22 und 23 zeigen Beispiele von vier solchen Wesen, die vor 80 bis 100 Millionen Jahren in Nordamerika lebten und seitdem ausgestorben sind.

In Abbildung 20 sehen wir ein Porträt des Triceratops, eines typischen Vertreters einer ganzen Klasse von Tieren, die sich auf ihre Verteidigungswaffen verließen. Er hatte drei Hörner, von denen jedes bis zwei Meter lang war, und wenn er angegriffen wurde, brauchte er sich nur mit dem Rücken gegen eine Wand zu stellen und zu warten, bis sein Widersacher sich auf seinen Hörnern aufgespießt hatte. Er war ein ungeheurer Koloß, ungefähr 7½ m lang und 3 m hoch. Er war noch eine Art Reptil, und das Weibchen legte Eier gewaltigen Formats.

Abbildung 21 zeigt ein anderes Geschöpf derselben Gattung, den Scolosaurus oder Dornreptil, ein Glied der Familie, von dem gesagt worden ist, es sei „die zyklopischste wandelnde Festung, welche die Welt je gesehen habe". Seine Methode gegenüber Angreifern bestand wahrscheinlich darin, daß er sich flach auf den Boden legte und sich darauf beschränkte, mit seinem Schwanz zu wedeln; dieser endete, wie man auf dem Bild sehen kann, in einem mächtigen knöchernen Knollen, nicht unähnlich den Stachelkeulen, deren sich die Kreuzfahrer bedienten. In jenen frühen Tagen waren offenbar Verteidigungs- und Angriffstaktik noch gleich unentwickelt und verlangten kein hohes geistiges Niveau: der Triceratops zum Beispiel hatte einen Schädel von 2 m Länge, aber darin ein Gehirn, so groß wie das eines Kätzchens.

Abbildung 22 stellt den Pterodactyl dar — Pteranodon occidentalis —, ein riesiges vogelartiges Reptil mit einer Flügelweite von ungefähr 5½ m. Er gehörte zu den unglücklichen Kreaturen, die eine ganze Menge Dinge leidlich, aber nichts richtig gut tun können. Seine Flügel waren zu schwach, um seinen schweren Körper in die Luft zu heben, so daß er nicht recht fliegen konnte, und seine Beine zu dünn, um sein respektables Gewicht auf der Erde zu tragen, so daß er nicht recht gehen konnte. Laufen konnte er schon gar nicht. Und selbst mit dem Sitzen war es übel bestellt, da ihm, wenn er nicht gerade zuoberst auf einer Felszacke hockte, seine Ellbogen beständig im Weg gewesen sein müssen. Nach den Beschreibungen der Zoologen verbrachte er seine Tage damit, sich im Schweiße seines Angesichts mühselig auf die Spitze eines Hügels oder einer Klippe zu schleppen, dann auf die Luftströmungen niederzusinken und wie ein Segelflieger auf ihnen zu gleiten, bis er auf seine Beute herunterstoßen konnte, worauf er von neuem seinen Aufstieg begann.

Auf Abbildung 23 sehen wir den Diplodocus, eines der größten Tiere, die je auf der Erde lebten. Er war ungefähr 9 m hoch und 27 m lang, so daß ein einziger Diplodocus soviel gewogen haben muß wie eine ganze Elefantenfamilie — Vater, Mutter, Kinder und vielleicht noch ein paar Onkels und Tanten obendrein. Ein gutes Exemplar wird ein Gewicht von 40 bis 50 t besessen haben. Er war so schwer, daß seine Beine ihn an Land kaum tragen konnten, und zog es daher vor, in Morästen zu leben, wo sein langer Hals sich

überdies beim Fressen als nützlich erwies; er mußte tatsächlich den Auftrieb des Wassers ausnützen, um sein Gewicht etwas herabzusetzen, wenn er in einiger Bequemlichkeit leben wollte. Auf Abbildung 24 stellt sich uns eine andere gewaltige und womöglich noch ungestaltere Echse dar — der Cetiosaurus oder das Walfischreptil. Er lebte auf unserer Seite des Atlantik, und man fand und findet noch fortgesetzt viele Skelette in englischen Steinbrüchen. Er war an die 20 m lang, und gleich seinem amerikanischen Verwandten, dem Diplodocus, fand er es bequem, die Last auf seinen Beinen durch ein Leben im Wasser zu erleichtern. Aber wir sollten lieber nicht über die Schwächen dieser unseligen Geschöpfe spotten, denn wenn wir auf unserer Reise erst bis zum Jupiter oder Saturn vorgedrungen sind, werden wir in derselben Verlegenheit sein und mögen dieselben Vorsichtsmaßregeln zu ergreifen haben, wenn wir nicht unter der Bürde unseres eigenen Gewichtes zusammenbrechen wollen.

Wie wir bald finden werden, daß wir höchstens zu einem ganz kurzen Besuch auf dem Jupiter oder Saturn taugen, so taugten diese Mißgeburten nicht dazu, sich auf die Dauer im Kampf ums Dasein auf der Erde durchzusetzen, und wurden im Lauf der Zeit gezwungen, ihren behenderen Konkurrenten — den kleineren Säugetieren und dem Menschen — zu weichen, die mehr Vertrauen auf Wachheit und Intelligenz setzten als auf eine starrende Rüstung oder brutales Format und Gewicht. Die mächtigen, schwer gewappneten Echsen mußten aus genau demselben Grunde weichen, aus wel-

chem der schwerbewaffnete Krieger des Mittelalters durch den panzerlosen Soldaten der Jetztzeit verdrängt wurde, aus welchem man Festungen und Panzerkreuzer durch Tanks und Torpedoboote ersetzt hat und das Luftschiff durch den leichter lenkbaren Flieger.

Nach dem Untergang dieser Tierwelt kommen wir zu dem Zeitalter der Säugetiere und anderer Wesen, die den heutigen Arten im allgemeinen ähnlicher waren. Abbildung 25 zeigt das Arsinoitherium, das vor einigen 25 Millionen Jahren in Ägypten lebte. Es war viel kleiner als die Ungeheuer der vorhergehenden Epoche und doch noch so groß wie ein durchschnittliches Nilpferd oder ein kleiner Elefant. Es erinnert mich an Kiplings „Gerade so“ Geschichte von der Entstehung des Elefantenrüssels. Das Elefantenbaby war viel zu neugierig, oder wenigstens fand das seine Familie, und wollte alles über die Naturgeschichte wissen; man mißbilligte es besonders, daß es immerzu frug, was das Krokodil zu Mittag äße. Schließlich erkundigte es sich bei einem Krokodil, das sich in einem Sumpf sonnte; das antwortete ihm, es solle sich niederbeugen, damit es ihm ins Ohr flüstern könne. Als das Elefantenbaby das tat, packte das Krokodil es höchst unfreundlich und heimtückisch bei der Nase und sagte: „Heute ein Elefantenbaby“ und zog und zog, bis die Nase zu dem Rüssel verlängert war, den jetzt jeder Elefant besitzt. Das Arsinoitherium sieht nämlich aus, wie das Elefantenbaby ausgesehen haben muß, als diese Prozedur halb beendet war; allerdings ist der vorstehende Teil seines Gesichtes nicht eigentlich ein Rüssel oder eine Nase, sondern besteht aus zwei spitzen knöcher-

nen Hörnern, die gerade über seiner Nase herausstehen. Außerdem hatte es noch zwei ähnliche, aber kleinere Auswüchse über jedem Auge und muß in der Tat äußerst erschrecklich und phantastisch anzuschauen gewesen sein.

Ein kleineres, aber weit gefährlicheres Geschöpf zeigt uns Abbildung 26 — den Machaerodus oder Säbelzahntiger, der in einer Zeit, die zwischen einer Million und zehn Millionen Jahren zurückliegt, in Asien und Europa vorkam. Er hatte die Gestalt eines großen Tigers oder Löwen, aus dessen Maul zwei fürchterliche Zähne ragten, ungeheuer lang und dünn, vorne scharf und hinten sägenartig, ein greulicher Anblick, zugleich aber auch ein unüberwindliches Hindernis, wenn er das Maul schließen oder sein Futter fressen wollte; kein Mensch kann recht verstehen, wieso er nicht Hungers gestorben ist.

Abbildung 27 stellt das Megatherium oder Riesenfaultier dar, das innerhalb der letzten Million Jahre in Südamerika lebte. Von seiner Größe gibt uns der Mann einen Eindruck, der neben ihm auf dem Bild erscheint. Dies kolossale Tier war jedoch vollkommen harmlos; es war wahrscheinlich ein Jagdtier und wurde möglicherweise sogar als Haustier gehalten, denn man hat Überreste eines Megatheriums in ein und derselben Höhle gefunden wie die eines Menschen.

Diese gewaltigen Faultiere sind seit langem ausgestorben, aber jener Mensch ist unser eigener Ahne. Irgendwann innerhalb der letzten Million Jahre entstanden — sei es in allmählicher Entwicklung oder durch eine plötzliche Umwandlung — Menschen, und wir sind das

Lebensformen

Gegenwart

Millionen Jahre vor unserer Zeit

Heutige Lebensformen — ←Der Mensch — ←Vögel, Säugetiere — ←Heutiger Pflanzenwuchs

200 — Riesenreptile — ←Reptile (vor etwa 200 Millionen Jahren)

400 — Reichtum an Lebensformen — ←Fische (vor etwa 400 Millionen Jahren)

600

←Vertebraten (vor etwa 1000 Millionen Jahren)

800 — Primitive Lebensformen (Vertebraten)

1000

1200

Die Erde wird fest

1400

1600

Die Erde kühlt ab

1800

Unbekannt

2000

Abb. 28. Schematische Darstellung der Hauptereignisse und -epochen der vergangenen Erdgeschichte. (Die Ereignisse und Daten sind durchaus nur als Vermutungen zu bewerten.)

Ergebnis. Verglichen mit einer einzelnen Lebenszeit erscheint eine Million Jahre fast unabsehbar; verglichen mit dem Gesamtalter der Erde ist es nur ein Bruchteil eines Bruchteils. Auf Abbildung 28 sind die Hauptepochen der Erdgeschichte größengetreu dargestellt. Die rund eine Million Jahre, welche der Mensch auf der Erde weilt, entsprechen einer Linie von der halben Dicke des dünnen Strichs am Kopf der Zeichnung.

Und selbst während dieser winzigen Spanne war der Mensch die längste Zeit unzivilisiert und lebte kaum besser als die Tiere, die er jagte. Wir überfliegen in Gedanken viele hunderttausend Jahre menschlicher Geschichte und erblicken nur Wilde, die in Höhlen leben wie Tiere, mit Tieren kämpfen und vielleicht schreien wie Tiere. Dann, es mag vor hunderttausend Jahren gewesen sein, bildet der Mensch ein neues Vermögen aus: er spricht; so wird er fähig, nicht nur zu planen und zu bedenken, sondern seine Gedanken auch mit seinen Mitmenschen auszutauschen und ihnen seine Pläne darzulegen. Das gibt ihm eine so gut wie unangreifbare Übermacht gegenüber allen Tieren, und jetzt ist sein Fortschritt unaufhaltsam. Merkliche Wandlungen sind nicht mehr eine Sache von Millionen von Jahren, tausende genügen, dann Jahrhunderte — jetzt fast einzelne Jahre. Das menschliche Leben hat sich in den letzten fünfzig Jahren mehr verändert als das der Reptilien in fünfzig Millionen Jahren während der Jura- und Permformation.

II. Kapitel

Die Luft

Wir wollen jetzt die Erde verlassen, in der wir lange genug gegraben haben, und unsere Gedanken und Augen nach oben richten.

Wir wissen alle, was unser Blick dort zu erwarten hat: die Sonne, den blauen Himmel oder auch Wolken bei Tag; Sterne und vielleicht auch den Mond und einen oder mehrere Planeten bei Nacht. Wir sehen diese Gegenstände vermöge des Lichtes, das durch die Atmosphäre der Erde bis in unsere Augen gewandert ist, und wenn wir sie klar sehen, so rührt das daher, daß die Atmosphäre durchsichtig ist; sie bildet kein Hindernis für die Fortpflanzung der Lichtstrahlen.

Vielleicht sind wir an diese Tatsache so sehr gewöhnt, daß wir sie als selbstverständlich hinnehmen, oder die Atmosphäre erscheint uns zu dünn und ätherisch, als daß sie den Durchgang von Lichtstrahlen aufzuhalten vermöchte. Und doch wissen wir ganz genau, wieviel Atmosphäre wir über uns haben, denn das gewöhnliche Hausbarometer wiegt sie immerfort für uns. Wenn die Nadel des Barometers auf 75 zeigt, so ist ebensoviel Substanz in der Atmosphäre über unseren Köpfen wie in einer Quecksilberschicht von 75 cm Dicke. Und das ist wiederum derselbe Betrag, der in einer Bleischicht von 90 cm Dicke vorhanden wäre, denn Quecksilber ist ungefähr im Verhältnis 6 : 5 schwerer als die gleiche Menge Blei. Wenn wir uns das Gewicht der Atmosphäre über uns vorstellen möchten, so brauchen wir nur zu denken, daß wir mit 90 Tüchern aus Blei bedeckt sind, von denen jedes 1 cm dick ist. Wir werden aber kaum erwarten, daß wir durch 90 bleierne Tücher hindurchsehen können; so beginnt es schon, ein wenig erstaunlich, ja recht eigentlich wie ein glücklicher Zufall zu wirken, daß wir durch die ebenso substantielle Atmosphäre hindurchsehen können.

Dann ist es jedenfalls ein glücklicher Zufall, den viele der anderen Planeten nicht mit uns teilen. Betrachten wir diese nämlich von der Erde aus, so finden wir, daß sie von einer undurchsichtigen Atmosphäre umhüllt sind, die es uns ganz unmöglich macht, ihre Oberfläche zu sehen. Und daraus müssen wir wohl den Schluß ziehen, daß wir, wenn unsere Reisen uns später zu diesen Planeten selbst führen werden, nicht erwarten dürfen, durch ihre Atmosphäre hindurch den Himmel und die Sterne zu erblicken.

Aber wir wollen diese Frage der Undurchlässigkeit und Durchlässigkeit für Licht etwas eingehender erörtern. Wir wissen, daß Licht wie alle anderen Arten von Strahlung aus Wellen besteht, und wir wissen, daß Wellen lang oder kurz sein können. Auf dem Meer zum Beispiel gibt es die langen Dünungswellen, die nach Hunderten von Metern messen und selbst die größten Dampfer zum Schaukeln bringen; und es gibt Kräuselungen, die nur einige Zentimeter lang sind, auf große Schiffe keinen wahrnehmbaren Einfluß haben,

ein Ruderboot aber tanzen lassen — oder sie sind auch dafür zu kurz und ergreifen nur noch kleinere Dinge wie schwimmende Korkstücke oder Seetang. Ebenso ist es mit Lichtwellen; einige sind lang, andere sind kurz, und Wellen verschiedener Länge üben verschiedene Wirkung aus.

Die Strahlung nun, welche die Sonne aussendet, enthält eine Mischung von fast allen Wellenlängen, wenn einige auch nur in winzigen Mengen vorkommen. Unsere Augen sind nicht empfindlich für diejenigen Wellenarten, welche die Sonne nur in kleinen Mengen aussendet, und sie sind auch nicht empfindlich für gewisse andere, welche von der Sonne zwar reichlich ausgeschickt werden, aber unsere Augen nicht erreichen, weil unsere Atmosphäre sie nicht durchläßt. Wenn es diesen Wellen plötzlich gelingen würde, in Mengen unsere Atmosphäre zu durchdringen, so würden sie uns verbrennen; wir würden zuerst braun und dann schwarz werden und nach kurzer Zeit sterben, aber unsere Augen würden das Licht, das uns tötete, niemals sehen. Sie sind im allgemeinen nur für Licht derjenigen Wellenlängen empfindlich, die uns in großen Mengen erreichen — das heißt kurz gesagt nur für die Wellen, aus welchen das gewöhnliche Tageslicht besteht.

Im Grunde ist das nicht erstaunlich. Wir sind die Abkömmlinge von Millionen von Generationen von Ahnen, deren Organe, einschließlich ihrer Augen, sich langsam und allmählich in vielen Hunderten und Millionen von Jahren an ihre Umgebung angepaßt haben. Daher sind im allgemeinen weder Tiere noch Menschen mit Organen belastet, die keinem nützlichen Zweck dienen.

Wenn ein Organ nicht mehr benötigt wird, so daß es außer Gebrauch kommt und nur noch eine überflüssige Bürde bedeutet, verschwindet es allmählich; oder wenn es das nicht tut, verschwindet das Tier, das damit belastet ist, wie zum Beispiel die schwer gerüsteten Reptilien, deren Bekanntschaft wir im vorigen Kapitel gemacht haben. Augen, die für ein Licht empfindlich waren, das niemals von der Sonne zu ihnen gelangte, hätten sowohl das Tier wie den Menschen nur behindert, und wenn die menschliche Rasse je solche Augen besessen hätte, wären sie jetzt jedenfalls längst verschwunden.

Da sich unser Körper allmählich im Lauf von Millionen Jahren entwickelt hat, haben Lungen und Blut sich der Qualität und Quantität der Erdatmosphäre und die Haut dem Klima angepaßt — schwarze Haut für die Tropen, weiße für die gemäßigte Zone und so weiter. Ebenso haben auch unsere Augen sich aller Wahrscheinlichkeit nach dem Tageslicht angepaßt, und es ist nicht bloß ein glücklicher Zufall, daß sie einzig für diejenigen Strahlungsarten empfänglich sind, die reichlich zu ihnen gelangen. Wenn wir auf dem Jupiter ankommen, wird es sich zeigen, daß wir nicht durch seine Wolken hindurchsehen können. Hätten wir jedoch einige tausend Generationen lang auf dem Jupiter gelebt, so würden unsere Augen sich wahrscheinlich einigen besonderen Wellenarten angepaßt haben, welche durch die Wolken des Jupiter hindurchgelangen, und wir priesen uns glücklich, auf dem Jupiter zu leben mit seiner wundervoll durchsichtigen Atmosphäre, und bedauerten die Bewohner anderer

Planeten, wie etwa der Erde, daß sie in dichte Wolken eingehüllt wären.

Da uns Kunde von allem, was außerhalb der Erde geschieht, nur in Form von Strahlung und besonders von Licht zukommt, ist es sehr wichtig für uns, die Eigenschaften verschiedener Licht- und Strahlungsarten mehr im einzelnen zu studieren. Wenn wir einen Regenbogen oder einen betauten Grasfleck im Sonnenlicht anschauen, erblicken wir eine Fülle von Farben; aber wir wissen, daß sie erlöschen würden, wenn die Sonne verschwände oder sich auch nur zeitweise hinter einer Wolke versteckte. Das beweist, daß das Licht, das wir sehen, ursprünglich von der Sonne herrührt. Aber es ist nicht auf dem direktesten Weg zu uns gelangt — es erreicht uns ja schon aus der falschen Richtung —, sondern von kleinen Wasserkügelchen, den Regentropfen der Wolke oder den Tautropfen auf dem Rasen, in unser Auge hineingeworfen worden; und diese winzigen Wassertropfen haben es bei seinem Ein- und Austritt zu der Farbenmannigfaltigkeit aufgebrochen, die wir wahrnehmen. Nun gibt es weit wirksamere Mittel, das Sonnenlicht zu zerlegen; wir können es zerlegen, indem wir es durch ein Glasprisma oder selbst eine Flasche mit Wasser hindurchschicken oder indem wir uns — und das ist das wirksamste — eines sehr empfindlichen Instrumentes bedienen, des sogenannten Spektroskops.

Wenn das Sonnenlicht auf eine dieser Arten aufgespalten ist, erscheint es als ein Band verschiedener Farben, wobei Rot an einem Ende steht und Violett am anderen. Dies Band heißt das Spektrum. Zwischen Rot und

Violett liegen weitere Farben; die vollständige Farbfolge lautet: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Wenn wir irgendeine andere Lichtart zerlegen, erhalten wir ein anderes Spektrum, aber was für eine Lichtart wir immer benutzen mögen, die Farben folgen einander unwandelbar in der erwähnten Ordnung. Der Grund dafür ist, daß die verschiedenen Farben des Lichts von Wellen verschiedener Länge erzeugt werden und daß in jedem Spektrum die verschiedenen Farben des Lichtes in der Reihenfolge ihrer Wellenlängen angeordnet sind.

Einen einfachen Beweis hierfür können wir erhalten, wenn wir das Licht zerlegen vermittels eines anderen Instrumentes, des sogenannten Beugungsgitters. Ein Beugungsgitter besteht aus einer Metallplatte, in welche Tausende von parallelen Linien in genau gleichen Abständen mit einem Diamanten oder einem anderen spitzen Instrument eingeritzt sind. Wenn Licht auf die Oberfläche des Metalls fällt, werden Wellen verschiedener Längen durch die Ritzung voneinander getrennt und in verschiedenen Richtungen zurückgeworfen, d. h. entsprechend ihren Längen sortiert, auf dieselbe Art wie ein Kartoffelsieb die Kartoffeln nach ihrer Größe sortiert. Der Abstand zwischen den einzelnen Ritzen entspricht der Maschenweite des Siebs, und wenn wir diesen kennen, können wir die Länge einer jeden Welle aus der Richtung berechnen, in welcher sie zurückgeworfen wird. Wenn das Licht auf diese Weise zerlegt wird, bilden die verschiedenen Wellenlängen wiederum ein Spektrum, in welchem die Farben in genau derselben Anordnung erscheinen wie vorhin. Aber

wir brauchen nicht mehr im Dunkeln zu tappen bezüglich der Bedeutung dieser Anordnung; wir sehen jetzt ohne weiteres, daß die verschiedenen Farben des Lichtes durch Wellen verschiedener Längen erzeugt sind und im Spektrum nach ihren Wellenlängen angeordnet erscheinen. Die Messungen zeigen, daß rotes Licht die größte Wellenlänge hat, etwa 13 000 Wellen pro Zentimeter. Wenn wir die anderen Farben — Orange, Gelb, Grün — der Reihe nach durchlaufen, nimmt die Wellenlänge beständig ab, bis wir zum violetten Licht kommen mit ungefähr 26 000 Wellen auf den Zentimeter.

Schall besteht ebenfalls aus Wellen, wenn auch von ganz anderer Art; sie brauchen Luft zu ihrer Fortpflanzung und sind ungefähr eine Million mal länger als Lichtwellen. Wie verschiedene Farben des Lichts von Lichtwellen verschiedener Länge hervorgebracht werden, so Töne verschiedener Höhe von Tonwellen verschiedener Länge. Das mittlere C auf dem Klavier zum Beispiel hat eine Wellenlänge von 1,20 m, während das hohe C eine Wellenlänge von 60 cm hat. Wenn ein Ton genau die halbe Wellenlänge eines anderen hat, sagen wir, daß er eine Oktave höher ist. So können wir, da das violette Licht genau die halbe Wellenlänge des roten hat, analog sagen, daß es eine Oktave höher ist als das rote Licht. Überhaupt werden wir nicht allzusehr fehlgehen, wenn wir von den sieben Farben im Spektrum als von den sieben Tönen einer Tonleiter sprechen, wobei dann Rot das C, Orange das D, Gelb E, Grün F wäre usw. Wir sahen bereits, daß das ganze sichtbare Spektrum innerhalb einer Oktave liegt.

Unsere Ohren können elf Tonoktaven hören, aber unsere Augen können nur eine Lichtoktave sehen.

Doch wissen wir, daß in der Sonnenstrahlung noch viel mehr enthalten ist als die eine Oktave Licht, die unsere Augen sehen können. Über das höchste für uns sichtbare Violett hinaus kommt noch eine ganze Menge Licht, das wir nicht sehen können; es besteht aus noch kürzeren Wellen als das violette Licht und wird allgemein als ultraviolette Strahlung oder als ultraviolettes Licht bezeichnet. Es kann nicht auf unsere Augen einwirken aus demselben Grund, aus welchem schwache Kräuselungen auf dem Meer keine Wirkung auf ein großes Schiff ausüben können — seine Wellen sind zu kurz. Aber photographische Platten affiziert es sehr stark, und wenn unsere Retina aus denselben Stoffen bestünde wie die Emulsion photographischer Platten, würden wir ultraviolette Strahlen sehen.

Auch jenseits des roten Endes des Spektrums gibt es Strahlung, die unser Auge nicht verzeichnet, die sogenannte infrarote, deren Wellen länger sind als die des roten Lichtes. Wenn ein fester Gegenstand erhitzt wird — zum Beispiel ein Hufeisen in einer Schmiede —, so glüht er zuerst in einem stumpfen roten Licht, das sich, wenn er heißer und heißer wird, nacheinander in ein helles Rot, Orange und Gelb verwandelt. Der Vorgang des Erhitzens erzeugt eine Aussendung von Strahlung, und je heißer das Eisen wird, um so kürzere Wellen emittiert es. Wir können sagen, daß die Strahlung eines sich erhitzenden Gegenstandes das Spektrum in Richtung von immer kürzer werdenden Wellen durchläuft. Wir sehen einen Gegenstand vermöge seines

eigenen Lichts erst dann, wenn seine Strahlung in den sichtbaren Teil des Spektrums übergegangen ist; doch sendet er, lange bevor dies Stadium erreicht ist, infrarote Strahlung aus, für die nicht unser Auge, wohl aber unsere Haut empfindlich ist; wenn wir unsere Hand einem heißen Hufeisen nähern, fühlen wir seine Strahlung schon ehe wir sie sehen können. Das zeigt, daß infrarote Strahlung wärmeartig ist und nicht lichtartig. Gewöhnliche photographische Platten werden weder

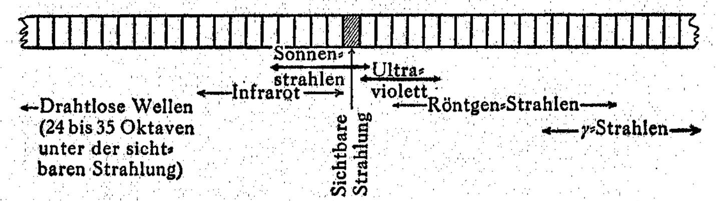


Abb. 29. Der mittlere Teil der Tonleiter der Strahlung. Jeder Abschnitt stellt eine volle Oktave der Strahlung dar; sie sind alle unsichtbar mit Ausnahme der mittleren, dunkel schattierten Oktave

von infrarotem noch von rotem Licht affiziert; aus diesem Grund können wir in der Dunkelkammer rotes Licht verwenden, ohne unseren exponierten Platten zu schaden. Wenn die Retina unserer Augen aus denselben Substanzen bestünde wie die Emulsion photographischer Platten, sähen wir rotes Licht überhaupt nicht, gelbes und grünes kaum und deutlich nur blaues und violettes und daneben noch ultraviolettes Licht, das unsere gegenwärtigen Augen nicht wahrnehmen.

Wenn wir mit unseren Augen auch nur eine Strahlungsoktave sehen können, so haben die Physiker doch Mittel und Wege gefunden, um nicht weniger als 64 Oktaven zu erforschen. Ihre Tonleiter der Strahlung

ist wie ein gewaltiges Klavier mit 64 Oktaven, für die wir alle taub sind, ausgenommen die eine Oktave sichtbaren Lichtes (vgl. Abbildung 29). Unmittelbar oberhalb dieser einen Oktave in Richtung auf den Sopran zu kommen wir zu der ultravioletten Strahlung. Sie tut ihre Gegenwart kund, indem sie auf photographische Platten einwirkt und auch indem sie eine Anzahl chemischer Stoffe zum Fluoreszieren bringt; das ist der Vorgang, bei dem ein Körper, auf den unsichtbares ultraviolettes Licht auffällt, sichtbares Licht auszusenden beginnt — gleich als nähme er die Strahlungsenergie und setzte sie um mehrere Intervalle in der Tonleiter hinunter. Dann gelangen wir, etwa zehn Oktaven über der des sichtbaren Lichts, zu den sogenannten Röntgenstrahlen, für welche leichte Substanzen durchlässiger sind als schwere, so daß bei ihrem Durchgang durch ein Gemisch von Stoffen die schweren tiefere Schatten werfen als die leichten. Dank dieser Eigenschaft dienen sie dem Chirurgen, um gebrochene Knochen durch das Fleisch zu photographieren, und man kann sie auch benutzen, um durch eine moderne Übermalung hindurch ein altes Gemälde zu studieren.

Über allen diesen — ganz hoch oben im Diskant — kommen die γ-Strahlen, welche von Radium ausgesandt werden; und zuletzt, 32 Oktaven über der Oktave des sichtbaren Lichtes, liegen gewisse kosmische Strahlen, die meterdicke Bleischichten durchdringen können.

In der anderen Richtung — zum Baß hinunter — stoßen wir zunächst auf die infrarote Strahlung, die wir schon erwähnt haben; die Hitze, die ein heißes Bügeleisen ausstrahlt, liegt etwa drei Oktaven, die eines

kochenden Wasserkessels etwa vier Oktaven unter dem sichtbaren Licht. Man stellt jetzt besondere, infrarotempfindliche photographische Platten her, so daß es möglich ist, bei dieser Strahlung Gegenstände zu photographieren, die für unser Auge in vollständiges Dunkel gehüllt sind. Abbildung 35 zum Beispiel zeigt uns ein heißes Bügeleisen, das in einem dunklen Zimmer im Licht seiner eigenen infraroten Strahlung photographiert ist.

Viel tiefer als diese — etwa 30 Oktaven unter dem sichtbaren Licht — liegen Wellen, die mehr als tausend Millionen mal länger sind als die Wellen des sichtbaren Lichts. Sie sind für uns besonders interessant und wichtig, denn sie sind nichts anderes als die Wellen, welche für drahtlose Übertragung benutzt werden. Die Wellenlänge von gelbem Licht beträgt nur rund den sechzehntausendsten Teil eines Zentimeters, aber wenn wir das Programm einer Radiostation empfangen, stellen wir unsern Apparat auf Wellenlängen von 1500 m, 342,1 m usw. ein. Abgesehen davon, daß hier alles tausendmillionenmal größer ist, haben diese Wellen viele Eigenschaften der Lichtwellen. Zum Beispiel werden sie von den parallelen Drähten eines gerichteten Senders genau so behandelt wie die Wellen des sichtbaren Lichts von den parallelen Ritzen auf der Oberfläche eines Beugungsgitters. Wenn wir Licht einer bestimmten Farbe auf ein Beugungsgitter fallen lassen, finden wir, daß es als ein einziger Strahl in einer einzigen Richtung zurückgeworfen wird, wobei die genaue Richtung von der Wellenlänge des Lichtes abhängt. Auf dieselbe Weise pflanzen sich Radiowellen von einer einzigen Wellenlänge, wenn sie von der Antenne eines gerichteten Senders ausgesandt werden, alle als ein einziger Strahl in einer bestimmten Richtung fort — nach Indien, China, Japan oder wohin wir wollen, je nach der benutzten Wellenlänge.

Nach dieser vorläufigen Untersuchung über die Eigenschaften von Strahlung und Licht wollen wir jetzt daran gehen, die Atmosphäre zu betrachten, in welcher sie sich fortpflanzen. Wahrscheinlich sind die meisten meiner Leser geneigt, sie sich als eine einfache Schicht durchsichtigen Gases vorzustellen, die sich himmelwärts erstreckt; aber die Physiker belehren uns, daß sie eine sehr komplizierte Struktur besitzt. Wir können uns ein ganz gutes allgemeines Bild von dieser Struktur machen, wenn wir sie uns, wie früher die Erde, als eine Anzahl von Schalen oder Schichten denken, von denen eine jede die ihr nach innen zunächst liegende einhüllt, bis zu der allerinnersten, die um ein massives Paket gewickelt ist — die feste Erde.

Die erste atmosphärische Hülle, welche sich um die Erde legt, ist die Troposphäre oder Region des Wechsels. Ihre Dicke schwankt mit Ort und Zeit zwischen 8 und 16 km und beträgt im allgemeinen etwa 11 km. Obgleich dies nur ein kleiner Bruchteil der Gesamtdicke der Atmosphäre ist, enthält die Troposphäre doch nahezu 90 vH der ganzen Substanz der Atmosphäre. Die Erklärung hierfür ist natürlich, daß die Atmosphäre weit dichter ist in ihren unteren Schichten, welche noch viel Luft über sich haben, die sie niederdrückt, als höher oben, wo sie nur noch ein kleines Gewicht zu tragen hat. Die Troposphäre wird unaufhörlich von Winden

und Stürmen bewegt — daher ihr Name —, während die Schicht darüber, die sogenannte Stratosphäre, durch fast vollkommene Ruhe gekennzeichnet ist; so hoch hinauf reichen die Stürme nicht mehr.

Die Atmosphäre besteht aus einem Gemisch von vielen Gasarten, leichten und schweren. Wenn sie lange genug sich selbst überlassen bliebe, würden die leichten Gase nach oben steigen wie die Sahne auf einer Milchsatte. In Wirklichkeit ist sie jedoch nie länger als ein paar Tage sich selbst überlassen. Wir sahen schon, daß die Erdumdrehung die Passatwinde erzeugt; und durchbraust von diesen und allen möglichen anderen Winden und Stürmen, ähnelt die Troposphäre eher der Milch in einem Butterfaß als in einer Sahnensatte. Dies beständige Umrühren sorgt für eine gründliche Mischung der Gase in der Troposphäre, so daß ihre Zusammensetzung durchgehend dieselbe ist. Sie besteht bekanntlich aus vier Teilen Stickstoff auf einen Teil Sauerstoff und einer Beimischung anderer Gase in unbedeutenderen Mengen.

Wir erwähnen von diesen vor allem den Wasserdampf, der seine besondern Eigenschaften hat, da er allein von allen Bestandteilen der Troposphäre sich in Form von Flüssigkeitstropfen — Regentropfen — niederschlagen kann, welche alsdann die Neigung haben, als Regen oder Schnee auf die Erde zu fallen. Wir alle sind wohlvertraut mit Wassergüssen, aber Sauerstoff-, Stickstoff- oder Heliumgüsse sind uns niemals begegnet. Nun bildet der Wasserdampf solche Tropfen besonders leicht, wenn die Luft vom Wind aufgerührt ist — daher die populäre Wetterregel, daß auf Wind Regen folgt. Wir sagten, daß das

Umrühren der Luft die Gasbestandteile gleichmäßig in der Atmosphäre verteilt, aber jetzt scheinen wir eine Ausnahme machen zu müssen für den Fall von Wasserdampf: das Umrühren wirft ihn auf die allertiefste Ebene, die Erdoberfläche, hinunter. Nach einer Weile wird freilich alles Wasser, das als Regenschauer niedergegangen ist, wieder verdunsten und auf diese Weise aufs neue der Atmosphäre einverleibt werden, aber bevor es noch sehr hoch aufgestiegen ist, kommt sicher abermals ein Wind daher und schüttelt es wieder hinunter. So überrascht es uns nicht, wenn wir den Wasserdampf nicht gleichmäßig in der Atmosphäre verteilt, sondern fast ausschließlich auf die untersten Schichten beschränkt finden. Auf Meeresniveau ist tatsächlich von achtzig Molekülen eines Wasserdampf, während am oberen Rand der Troposphäre das Verhältnis nur noch 1 : 10 000 beträgt. Das heißt, daß faktisch aller Wasserdampf der Atmosphäre sich in der Troposphäre aufhält, die dadurch zum Gebiet des Regens, Schnees und Nebels wird. Die gewöhnlichen Regenwolken (Abbildung 31) kommen im allgemeinen in Höhen zwischen einigen hundert Metern und anderthalb Kilometern oder mehr vor, während die höchsten Wolken, die Gutwetterwolken, die wir als Zirrus und Zirrostratus bezeichnen (Abbildung 30), in einer durchschnittlichen Höhe von 8 bis 10 km stehen.

Das fortwährende Umwirbeln der Gase in der Troposphäre hat noch eine andere interessante und wichtige Folge. Wenn wir ein Gas unter Druck setzen, zieht es sich nicht nur zusammen, sondern erwärmt sich auch — jeder wird das schon bemerkt haben beim Aufpumpen

eines Reifens. Umgekehrt sinkt die Temperatur eines Gases bei Herabsetzung seines Druckes. Darum kühlt sich das Gas, das aus einer Bombe komprimierten Gases strömt, beim Austritt immer ab; es kann sogar gefrieren und als Schnee zum Vorschein kommen — auf diesem Prinzip beruht die Wirkung vieler Feuerlöscher. Wenn nun die Luft von den Winden und Stürmen der Troposphäre nach oben getragen wird, wird der Druck, der auf ihr lastet, herabgesetzt, so daß sie abkühlt — genau wie Gas, das einer Gasbombe entströmt. Wird dieselbe Luft von den Winden wieder nach unten gepreßt, so erhöht sich ihr Druck, und sie wird wärmer — genau wie die Luft in einem Autoreifen. Aus diesem Grund sind die oberen Schichten der Troposphäre immer kälter als die unteren. Wenn wir auf einen Berg klettern oder im Flugzeug aufsteigen, finden wir, daß die Luft kälter wird; wenn wir auf den Talgrund gehen oder in ein Bergwerk einfahren, wird es wärmer.

Wenn die Atmosphäre eine einfache Masse durcheinanderwirbelnder Luft wäre, müßte, wie wir berechnen können, die Temperatur für je einen Kilometer Höhenunterschied um 10° abnehmen. Aber es sind viele andere Faktoren zu berücksichtigen, wie z. B. die Eigenwärme der Erde, die Sonnenstrahlung und die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche. Tatsächliche Beobachtungen mittels Ballons zeigen, daß die Temperatur in der Tat ziemlich gleichmäßig mit der Höhe fällt, aber nur um etwa 6° pro Kilometer. Bei einer Temperatur von 15° auf Meeresniveau wäre die Temperatur in einer Höhe von 11 km ungefähr 51° unter

Null. Das nähert sich den niedrigsten auf der Erdoberfläche verzeichneten Temperaturen, nämlich —70° in Werchojansk in Sibirien.

Frühere Physiker glaubten, daß jemand, der noch höher hinaufstiege, in kältere und kältere Gegenden gelange, bis die Temperaturen schließlich so tief sänken, daß man nicht mehr von Temperatur im eigentlichen Sinn sprechen könne. Dann wurde 1898 in der Nähe von Paris ein Geschwader von Ballons abgelassen, um die Temperaturen in großen Höhen zu messen, und man fand, daß diese Annahme irrig war. Nachdem eine Höhe von etwa 11 bis 16 km passiert war, blieben die Temperaturen ziemlich gleichmäßig und zeigten gelegentlich sogar eine leichte Zunahme. Der Grund dafür war, wie wir jetzt wissen, daß die Versuchsballons aus dem Aufruhr der Troposphäre in die Ruhe der Stratosphäre gelangt waren; dort gibt es keine Stürme mehr, welche die Atmosphäre abwechselnd zusammenpressen und verdünnen und sie dadurch in den höheren Schichten abkühlen und in den niedrigeren erwärmen. Eine Gasschicht, die wie die Troposphäre immer wieder aufgewirbelt wird, entwickelt ein Temperaturgefälle; wird sie aber sich selbst überlassen wie die Stratosphäre, so ist sie bestrebt, eine gleichmäßige Temperatur anzunehmen.

Wenn wir versuchen, die Höhen der Stratosphäre zu erforschen, stoßen wir auf sehr ähnliche Schwierigkeiten wie bei der Erforschung der Tiefen der Erde. Die nächstliegende Methode, um das Erdinnere zu ergründen, war, daß wir ein Loch gruben und entweder selbst hinunterstiegen oder Instrumente hinunterschick-

ten, die eine Probe heraufbrachten. Aber auf diese Weise drangen wir nur ein kurzes Stück vor, und zur weiteren Erforschung mußten wir uns der Wellen bedienen. Ebenso ist es, wenn wir Kunde über die Stratosphäre haben möchten, das Nächstliegende, daß wir uns entweder selbst im Ballon hinaufbegeben oder eine Luftprobe von einem Ballon herunterholen lassen. Beide Methoden werden allgemein angewandt, aber sie bringen uns nicht weit. Menschliche Wesen sind bis heute niemals höher hinaufgelangt als 22 km, eine Höhe, welche ein im Januar 1934 in Moskau aufgestiegener Ballon erreichte; und dann sind sie nicht lebendig wieder heruntergekommen. Die größte Höhe, bis zu welcher ein unbemannter Ballon gelangte, betrug 36,8 km und wurde von einem in Padua abgelassenen Ballon erreicht. Höhen, die darüber hinausgehen, können im Augenblick nur durch den Durchgang von Wellen erforscht werden. Für das Studium der Erde steht uns nur eine Art von Wellen zur Verfügung, nämlich die Erdbebenwellen; für das Studium der Stratosphäre dagegen verfügen wir über drei verschiedene Arten — Lichtwellen, Schallwellen und Radiowellen. Diese drei Wellenarten gehen durch die Stratosphäre und können von uns dazu benutzt werden, uns eine Botschaft mitzubringen — fast wie ein Ballon, der mit selbstregistrierenden Instrumenten ausgestattet ist.

Die Lichtwellen, welche die Stratosphäre passieren, sind natürlich die Strahlung, die von der Sonne und den Sternen herkommt. Die Kunde, die sie bringen, lautet dahin, daß sie beim Durchgang durch die Atmosphäre gewisser ihrer Wellenlängen beraubt worden

sind. Viele dieser fehlenden Wellenlängen liegen im ultravioletten Teil des Spektrums und sind, wie sich herausstellt, genau diejenigen, welche nicht durch Ozon hindurchgehen können. So liegt der Schluß nahe, daß der Ozon der Räuber ist. Ozon ist eine besonders schwere Abart des Sauerstoffs mit einem Molekül, das aus drei Atomen besteht anstatt der gewöhnlichen zwei. Es geht die Sage, daß ihm besondere Kräfte zukommen, er soll unsere Seebadeorte so heilkräftig machen, den Glanz der Gesundheit auf blasse Gesichter zaubern und ähnliches. Die Wissenschaft weiß nichts von dem allem, und die chemische Analyse zeigt, daß weder in Seebadeorten noch sonstwo zu Wasser oder zu Lande Ozon in irgendwelchen nennenswerten Mengen vorkommt.

Man hat gefunden, daß die Menge der ultravioletten Strahlung, welche auf die Erde gelangt, nicht immer die gleiche ist, sondern sich verändert mit der Stellung der Sonne am Himmel. Es besteht eine ganz bestimmte Beziehung zwischen beidem, und das ermöglicht es uns, die Lage des Ozons festzustellen, von welchem die ultraviolette Strahlung absorbiert wird. Neuere Untersuchungen von Professor Dobson in Oxford und anderen Physikern haben ergeben, daß der größte Teil des Ozons in einer Zone von 40 km über dem Boden liegt; seine durchschnittliche Höhe beträgt etwa 24 km. Er ist in außerordentlich geringer Menge vorhanden, sein Gewicht beträgt nur soviel wie das einer Papierschicht von $^{5}/_{1000}$ cm Dicke — und das ist das dünnste Seidenpapier. Das Sonnenlicht kann viele Kilometer Luft ohne merkbare Absorption durchmessen, und dennoch genügt diese dünne Ozonschicht, um seine

ultravioletten Strahlen auf ihrem Wege zu uns aufzuhalten. So mag es in gewissem Sinn am Ende doch ein rechter Zufall sein, daß unsere Atmosphäre überhaupt durchsichtig ist. Denn wir könnten genau so gut von einer Atmosphäre umgeben sein, deren verschiedene Bestandteile die einzelnen Elemente des Sonnenlichts ebenso wirksam ausschlössen wie der Ozon die ultravioletten Strahlen, so daß weder ein Sonnenstrahl noch irgendwelches andere Licht zu uns käme.

Doch hält der Ozon nicht alle ultraviolette Strahlung zurück, und das ist ein glücklicher Umstand, denn eine gewisse Dosis davon ist uns zuträglich. Es heißt, daß Bergleute und andere Menschen, die ihre Arbeit unter Tag verrichten müssen, ihrer Gesundheit aufhelfen können, wenn sie sich gelegentlich für kurze Zeiten künstlichen ultravioletten Strahlen aussetzen. Kinder, die durch Mangel an geeigneter Nahrung zugrunde zu gehen schienen, konnten zuweilen einfach dadurch geheilt werden, daß man diese Strahlen auf ihre Haut fallen ließ, wodurch das für die Gesundheit wesentliche Vitamin D erzeugt wurde. Andererseits kann ein Übermaß verhängnisvoller werden als völliges Fehlen, und wir hören gelegentlich von Menschen, die an einer zu starken Bestrahlung mit ultraviolettem Licht gestorben sind.

Die Ozonschicht überwacht unsere Versorgung mit ultravioletten Strahlen von der Sonne und läßt uns im großen ganzen genau so viel zukommen, wie wir brauchen. Wenn wir später auf anderen Planeten reisen, werden wir vielleicht finden, daß ihre Atmosphäre mehr oder weniger von dieser Strahlung durchläßt, als uns

zuträglich ist, und unsere Gesundheit wird entsprechend leiden. Aber daß unsere eigene Atmosphäre uns so gut zu behandeln scheint, liegt wohl wiederum nur daran, daß unser Körper nach Millionen von Generationen gelernt hat, sich gerade mit dem einzurichten, was ihm zugemessen wird. Wenn wir Millionen von Generationen hindurch auf irgendeinem anderen Planeten gelebt hätten, würden wir vielleicht die Dosis ultravioletter Strahlung auf unserer Erde unerträglich finden.

Es fehlen noch andere Wellenlängen in der Strahlung, welche wir von der Sonne und den Sternen empfangen, besonders innerhalb der roten und infraroten Teile des Spektrums. Dieser Ausfall kann jedoch der Gegenwart von Sauerstoff, Wasserdampf und Kohlendioxyd zugeschrieben werden, so daß er uns nichts Neues über die Zusammensetzung der Atmosphäre lehrt.

Soviel über das, was die Lichtwellen uns zu sagen haben; wir werden sehen, daß wir fast noch mehr von den Radiowellen lernen können. Diese gelangen nicht wie die Lichtwellen von außen in die Atmosphäre — oder doch höchstens in kaum merklichen Mengen —, so daß wir die Wellen studieren müssen, die von unseren eigenen drahtlosen Stationen ausgesandt werden. Wir haben gesehen, daß sie von derselben allgemeinen Natur sind wie die Lichtwellen, abgesehen davon, daß sie einige tausend Millionen mal länger sind. Da sie ihnen ähnlich sind, haben sie viele Eigenschaften mit ihnen gemein. Beide zum Beispiel pflanzen sich in gerader Linie fort, und beide werden von dem festen Erdkörper aufgehalten. Genau wie wir nie hoffen kön-

nen, um die Erde herumzusehen, so mußte man zunächst auch erwarten, daß wir nicht imstande sein würden, ein drahtloses Signal aufzufangen, das von einer Station auf der anderen Seite der Erde ausgesandt war.

Daher waren die ersten Experimentatoren aufs äußerste überrascht, als sie bemerkten, daß sie ohne Schwierigkeit drahtlose Stationen bei den Antipoden hören konnten; wir können jetzt sogar Stationen in der Nähe unseres eigenen Empfängers hören vermittels Wellen, die zweimal um die Erde gewandert sind und fast eine halbe Sekunde zu ihrer Reise gebraucht haben. Und nicht nur das: jeder, der einmal mit einem Radio gespielt hat, weiß, daß der Empfang für ganz entfernte Stationen gelegentlich besser ist als für nahe Stationen der gleichen Stärke.

Allmählich kam man zu dem Schluß, daß Radiowellen zwar in allen Richtungen emittiert werden, aber daß ein Strahl, sobald er eine gewisse Höhe über der Erdoberfläche erreicht hat, auf irgendeine Weise umgebogen und zur Erde zurückgeworfen wird. Wenn Lichtwellen sich auf ähnliche Art verhielten, würden wir schließen, daß irgendwo oben im Himmel ein Riesenspiegel sei, der sie auf die Erde reflektiere. In gewissem Maße wirken bei den Lichtwellen dicke Wolken wie ein solcher Spiegel — zum Beispiel kann bei bewölktem Himmel der Schein der Lichter einer Stadt weit draußen im Land gesehen werden. Aber der Spiegel, welcher Radiowellen zurückwirft, muß etwas ganz anderes sein — er muß für gewöhnliches Licht vollständig durchlässig sein, denn wir können

oft gerade in einer klaren Nacht entfernte Stationen ausgezeichnet hören.

Es ist bekannt, daß ein gewöhnlicher Spiegel das Licht reflektiert, weil seine Oberfläche die Elektrizität leitet. Die Oberfläche besteht gewöhnlich aus Quecksilber oder Metall, aber Luft und andere Gase können unter speziellen Bedingungen ebenfalls leitend gemacht werden, so daß kein Grund dafür vorliegt, warum ein Spiegel nicht aus Luft oder Gas bestehen sollte. Allgemein gesprochen, sind Gase leitend, wenn sie ionisiert sind, d. h. wenn Elektronen aus ihren Molekülen herausgerissen sind, so daß sie sich frei bewegen und den elektrischen Strom transportieren können — was übrigens auch genau dem Prozeß entspricht, mittels dessen ein Quecksilberüberzug oder eine Metalloberfläche Elektrizität leitet. Im Jahr 1902 stellten zwei Physiker, Kennelly in den Vereinigten Staaten und Heaviside in England, unabhängig voneinander die Theorie auf, es müsse sich hoch über der Erde eine Schicht ionisierten Gases befinden, welche die Rolle eines Spiegels für die Radiowellen spiele und sie wieder erdwärts werfe. Ihre Annahme hat sich seither weitgehend bestätigt, und die Schicht ionisierten Gases wird als die E- oder Kennelly-Heaviside-Schicht bezeichnet. Sie liegt gewöhnlich in Höhen von 104 oder 112 km, doch kann sie gelegentlich bis zu 32 km außerhalb dieser Grenzen auftreten — d. h. in Höhen von 72 bis 144 km.

Eine zweite Schicht ionisierten Gases ist kürzlich oberhalb dieser festgestellt und die F- oder nach ihrem Entdecker die Appleton-Schicht genannt worden. Ihre

Höhe wechselt zwischen 144 und 400 km, ist demnach sogar noch veränderlicher als die der Kennelly-Heaviside-Schicht. Keine der beiden Schichten reflektiert alle auffallenden Wellen, viele Wellen entkommen durch die Heaviside-Schicht, um von der Appleton-Schicht eingefangen und zur Erde zurückspediert zu werden; ohne das hätte die Appleton-Schicht überhaupt niemals entdeckt werden können.

Auf demselben Weg sind weitere Schichten entdeckt worden, darunter die niedrigste, die sogenannte D-Schicht, die möglicherweise nicht mehr als 40 oder 48 km über dem Boden liegt. Sie ist besonders aktiv am frühen Morgen und fängt dann die langen Wellen, um sie zur Erde zurückzuwerfen. Abgesehen von diesen gehen die meisten anderen Wellen leicht durch sie hindurch, allerdings nur um von einer der höheren Schichten aufgehalten und reflektiert zu werden. Wenn wir das nächste Mal eine ausländische Station hören, wollen wir einen Augenblick innehalten und uns besinnen, auf welchem Weg die Radiowellen uns das Programm zugetragen haben. Wir werden sie sehen, wie sie die Station verlassen und aufwärts wandern, durch die D-Schicht werden sie sich wohl hindurchschlängeln und weiter steigen, bis sie eine der höheren Schichten erreichen, wo sie Millionen mal Millionen von Elektronen in Bewegung bringen, die gleich ebensovielen Torwächtern vor Miniaturtoren die Wellen am Durchkommen zu hindern suchen und so viele sie können zur Erde zurückkicken. Diese fallen auf unsere Antennen, wo sie wiederum Elektronen aufstören. Wenn wir die Station von Königswusterhausen hören wollen, die eine

Frequenz von 200 Kilohertz hat, muß jeder Torwächter im Himmel oben 200 000mal in der Sekunde hin- und zurückrennen; ebensooft laufen auf der Erde unten die Elektronen in unserer Antenne hin und zurück, und wenn wir einen guten Empfang haben, laufen sie auch in unserem Radio ein und aus und lassen dort andere Elektronen in den Röhren herumspringen. Und als das Ergebnis der verschiedenartigen Tätigkeit von Millionen von Millionen von Elektronen hören wir schließlich das Radioprogramm.

Es mag merkwürdig erscheinen, daß es so viele verschiedene Schichten ionisierten Gases gibt, aber wir dürfen nicht vergessen, daß unsere Atmosphäre aus einem Gemisch vieler Gasarten besteht und ihre verschiedenen Bestandteile in verschiedener Höhe ionisiert sein können. Auch kann die Ionisierung durch allerlei verschiedene Faktoren hervorgerufen werden, und diese mögen auf verschiedenen Höhen zur Wirkung kommen. Der wichtigste ist wohl das ultraviolette Licht, von dem wir wissen, daß es eine starke ionisierende Wirkung auf Gasmoleküle hat. Darum ist es auch bezeichnend, daß alle ionisierten Schichten beträchtlich über der Ozonschicht liegen, die undurchlässig ist für ultraviolettes Sonnenlicht.

Kürzlich sind andere reflektierende Schichten in solchen Höhen festgestellt worden, daß sie viele, viele Kilometer über dem obersten Rand der Atmosphäre und also schon draußen im leeren Raum liegen müssen. Die Höhe einer reflektierenden Schicht können wir bestimmen, indem wir aufpassen, wie lange ein Echo braucht, um von dort zu uns zurückzukommen. Wenn

es z. B. nach Ablauf von $^{1}/_{1000}$ Sekunde zurückkehrt, so wissen wir, da sich drahtlose Wellen mit einer Geschwindigkeit von 300 000 km pro Sekunde fortpflanzen, daß die beiden Wege hinauf und hinunter zusammen 300 km betragen und die Schicht also in einer Höhe von 150 km liegt. Nun hat man neuerlich Echos aus dem Raum nach Zeiträumen von 3 bis zu 30 Sekunden aufgefangen, woraus hervorgeht, daß reflektierende Schichten in Abständen von über 4 Millionen Kilometern von der Erde vorhanden sein müssen. Wahrscheinlich bestehen auch diese fernen Schichten, ebenso wie die nahen, aus elektrisch geladenen Teilchen, nur daß diese Teilchen nicht in der Atmosphäre schweben können, da dort, wo sie sind, keine Atmosphäre ist. Sie sind vielleicht elektrisch geladene Teilchen, die sich auf dem Weg von der Sonne zur Erde befinden.

Denn wenn wir erst zur Sonne gelangen, werden wir sehen, daß sie ununterbrochen elektrisch geladene Teilchen abschießt, von denen einige auf die Erdatmosphäre stoßen, nachdem sie etwa dreißig Stunden durch den Raum gewandert sind. Es ist ein allgemeines Gesetz der Elektrizitätslehre, daß ein bewegtes elektrisch geladenes Teilchen durch einen Magneten von seiner Bahn abgelenkt wird, und unsere Erde ist, wie wir alle wissen, ein ungeheurer Magnet. Die Folge ist, daß diese besonderen Partikel, wenn sie sich der Erde nähern, nicht mehr in gerader Linie weiterschießen, sondern zu dem magnetischen Nord- und Südpol der Erde hingezogen werden. Professor Störmer hat gezeigt, daß sie an gewissen Stellen ihrer Bahn zu weiten Umwegen gezwungen und dadurch lange aufgehalten werden können, ohne der Erde merklich näherzurücken. An diesen Stellen müssen große Anhäufungen von Teilchen stattfinden, die dort eine ganze Weile herumlaufen, und es mag sehr wohl sein, daß diese Anhäufungen die reflektierenden Schichten darstellen, von denen uns das Echo zugeworfen wird; übrigens sind dieselben Partikel, wenn sie in die Erdatmosphäre eingetreten sind, vielleicht auch verantwortlich für das Nordlicht oder die Aurora Borealis, jene wunderbare Erscheinung, die oft in den Gegenden um den magnetischen Nord- und Südpol der Erde beobachtet werden kann (Abbildungen 32 und 33 auf Tafel XIV).

Wir wollen uns jetzt überlegen, was uns der Durchgang von Schallwellen durch die Atmosphäre über diese lehren kann. Ebensowenig wie drahtlose Wellen gibt es Schallwellen, die vom Weltraum her auf die Erde fallen; es kann keine geben, da Schallwellen sich nur in einer Atmosphäre fortpflanzen und im Weltraum keine Atmosphäre existiert, die sie übermitteln könnte. So sind wir mit unseren Untersuchungen also auf die Geräusche angewiesen, die wir selbst auf der Erde machen.

Bei einer Explosion oder einem anderen starken Knall breiten sich Schallwellen in allen Richtungen aus auf dieselbe Art wie Radiowellen von einer drahtlosen Station. Die in den Raum hinaus gerichteten können viele Schicksale haben — das einzige, zu dem sie nicht verdammt sein können, ist, in alle Ewigkeit in gerader Richtung weiterzulaufen, denn schließlich würden sie keine Luft mehr finden, um sich darin fortzupflanzen. In Wirklichkeit stellt sich heraus, daß sie, nachdem sie zu einer gewissen Höhe gelangt sind, von einer reflek-

tierenden Schicht ganz ähnlich wie die drahtlosen Wellen zur Erde zurückgewendet werden. Wir können im Radio manchmal eine 300 km entfernte Station recht gut bekommen, während eine 150 km entfernte völlig unhörbar ist. Und ebenso kann man nicht selten den Donner schweren Geschützfeuers oder einer großen Explosion in einer Entfernung von 300 km deutlich vernehmen, während er unhörbar bleibt in einer Entfernung von 100 km.

Wir haben alle einmal als Kinder die Entfernung eines Gewitters berechnet, indem wir die Sekunden zwischen Blitz und Donner zählten und durch drei dividierten; der Quotient, wußten wir, ergab die Entfernung des Unwetters in Kilometern. Der Grund dieser Faustregel ist natürlich, daß der Schall sich mit einer Geschwindigkeit von etwa einem Kilometer in drei Sekunden durch die Luft fortpflanzt. Wenn wir nun dieselbe Regel anwenden, um die Entfernung einer großen Explosion festzustellen, finden wir oft, daß sie nicht zutrifft. Der Schall scheint zu lange zu gebrauchen für seine Reise oder jedenfalls länger, als wenn er sich geradeaus längs der Erdoberfläche fortgepflanzt hätte. Dann ist er in der Tat bis zu der reflektierenden Schicht hinauf- und wieder hinuntergegangen, und die Zeit, um welche er verspätet ist, gibt uns Auskunft über die Höhe der Schicht. Aus der Rechnung ergibt sich, daß sie ziemlich hoch in der Stratosphäre gelegen sein muß. Und nun ist es leicht, eine Vermutung für die Ursache der Reflexion aufzustellen. Denn wir sahen bereits, daß die Temperatur der Stratosphäre nach einer gewissen Höhe wieder anzusteigen beginnt, und es ist bekannt,

daß Schallwellen, die auf eine Schicht wärmerer Luft stoßen, in die kalte Luft zurückgeworfen werden, aus welcher sie kommen.

Diese Eigenschaft des Schalls können wir selbst nachprüfen, ohne daß wir in die Stratosphäre hinaufzugehen brauchen. An einem warmen Herbstabend bilden sich oft kurz nach Sonnenuntergang einige Meter über dem Erdboden Nebel, während die Luft darüber vollkommen klar bleibt. Das zeigt, daß die oberen Luftschichten wärmer sind als die unteren, so daß die beiden Schichten — die neblige und die klare — hinsichtlich der Temperatur eine Art Miniaturmodell für die Troposphäre und die Stratosphäre darstellen. Unter solchen Bedingungen werden wir finden, daß sich der Schall sehr deutlich und auf große Entfernungen am Boden fortpflanzt; die Wellen können sich nicht nach oben ausbreiten, weil die warme Luftschicht sie jedesmal, wenn sie es versuchen, wieder zurückwirft. Ähnliche Bedingungen kann man auch nachts über gefrorenem Boden oder in der Dämmerung über einer Seefläche antreffen. In beiden Fällen wird der Schall auf eben die Weise reflektiert wie an den warmen Luftschichten der Stratosphäre, wenn auch natürlich aus viel geringerer Höhe und in viel kleinerem Maßstab.

Der Fall von Sternschnuppen, den wir später besprechen werden (S. 126), liefert uns ein weiteres Zeugnis dafür, daß die Temperatur zunimmt, wenn wir in die Stratosphäre aufsteigen; während es in Höhen von 16 bis 32 km unangenehm kalt sein mag, kann es auf einem Niveau von ungefähr 160 km wieder ganz erträglich werden.

Abbildung 34 gibt eine graphische Darstellung von den verschiedenen Schalen oder Schichten der Erdatmosphäre.

Wir haben jetzt immerfort mit der Durchsichtigkeit der Atmosphäre zu tun gehabt und dabei ganz vergessen, daß sie doch niemals vollkommen und oft nichts weniger als durchsichtig ist. Wer in England lebt, weiß nur zu gut, daß Wolken oder Dunst und Nebel manchmal den blauen Himmel verhüllen können. Aber auch wenn Wolken, Dunst und Nebel ganz fehlen, ist die Atmosphäre in einem gewissen Sinn doch nicht völlig transparent. Wenn wir zum Mond kommen und von dort aufwärts schauen, werden wir keinen blauen, sondern einen schwarzen Himmel sehen, und der Grund dafür ist, daß der Mond keine Atmosphäre hat. Ebenso würde, wenn man die Erdatmosphäre nach und nach entfernte, aus unserem blauen ein schwarzer Himmel werden. Die Anfangsstadien dieses Vorgangs können wir beobachten, wenn wir in einem Flugzeug aufsteigen und dadurch den Hauptteil der Atmosphäre unter uns lassen. Die folgende Tabelle gibt die Farbe des Himmels in den verschiedenen Höhen an, wie sie von der Bemannung des U.S.S.R. Ballon „Stratosphäre" beobachtet wurde, der im Januar 1934 von Moskau aufstieg:

Höhe	Himmel
8,430 km	blau
10,910 km	dunkelblau
12,890 km	dunkelviolett
20,830 km	schwarzviolett
21,820 km	schwarzgrau

Wenn wir jemals vollständig aus der Atmosphäre herauskommen könnten, würde der Himmel vollkommen schwarz aussehen. Beim Aufblicken in die Höhe sehen wir in Wirklichkeit Unmengen von Luft-, Staub-, Wasserdampfteilchen und so fort, deren jedes einige der Sonnenstrahlen einfängt und in alle Richtungen zerstreut. Einige dieser zerstreuten Strahlen fallen auf unser Auge, und das Ergebnis ist, daß der Himmel uns hell und nicht dunkel erscheint.

Genau genommen, sieht er blau aus, und meine Leser werden mit Recht fragen, warum denn blau und nicht irgendeine andere Farbe, da die Sonnenstrahlen doch nicht besonders blau sind. Die Erklärung ist, daß Sonnenlicht, wie wir schon sahen, ein Gemisch von Wellen verschiedener Länge ist und daß die Luft-, Staub- und Wasserdampfteilchen alle diese verschiedenen Wellen nicht auf die gleiche Art behandeln. Die Wellen des blauen Lichts sind kürzer als die des roten, und die Partikel, die wir jetzt betrachten, sind weit kleiner als beide. Doch weil diese Teilchen den Wellen des blauen Lichtes an Größe näherkommen als denen des roten, zerstreuen sie es wirksamer; daher sind die zerstreuten Strahlen, die in unser Auge fallen, wenn wir zum Himmel aufblicken, zumeist blau, und wir sagen, daß der Himmel blau aussieht. Je kleiner die Teilchen, um so kräftiger zerstreuen sie das blaue Licht, so daß der Himmel am blauesten ist nach schwerem Regen, wenn die großen Staubteilchen herausgewaschen sind; ebenso sieht er besonders blau aus über dem Meer und hoch oben im Gebirge, weil wir dort die staubigeren Schichten hinter uns gelassen haben. In all

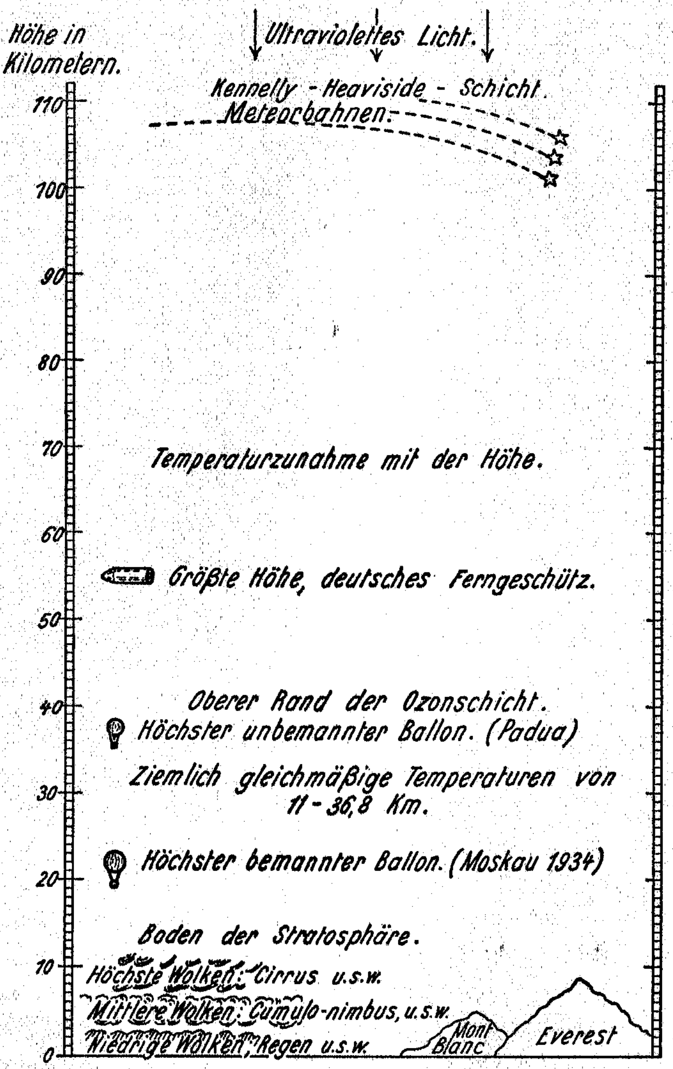


Abb. 34. Die Resultate der Erforschung der Atmosphäre in schematischer Darstellung. In demselben Maßstab ist die Erde eine Kugel mit einem Durchmesser von 15 m

diesen Fällen sind nur die winzigen Luftmoleküle an der Zerstreuung des Lichts beteiligt. Wenn dagegen die größeren Staubpartikel das Licht zerstreuen, sehen wir den nur allzu vertrauten Dunst einer staubigen Atmosphäre.

Wenn wir direkt in die Sonne schauen, fallen nur Strahlen in unser Auge, die noch nicht gebrochen und zerstreut sind. Da die blauen Strahlen in dieser Hinsicht mehr gelitten haben als die roten, müssen mehr rote oder rötliche Strahlen übriggeblieben sein als blaue, so daß die Sonne uns roter erscheint als sie in Wirklichkeit ist. Sind die Luft- oder Staubschichten zwischen uns und der Sonne besonders dick, wie z. B. bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, wenn die Sonnenstrahlen die Atmosphäre schräg durchschneiden, so sieht die Sonne noch roter aus als gewöhnlich. Dies Phänomen wurde auf besonders eindrucksvolle Art im Jahr 1883 beobachtet, als beim Ausbruch des Krakatao ungeheure Mengen vulkanischen Staubs in die Luft geworfen wurden. Dieser Staub hüllte das Land in einem Umkreis von 150 km um die Ausbruchsstelle zunächst in vollständige Dunkelheit und legte sich dann als eine Hülle um den Planeten. Während einiger Monate, solange die Erdatmosphäre von ihm erfüllt war, boten die Sonnenauf- und -untergänge ein unbeschreiblich herrliches Schauspiel.

Wasserdampf- und Nebelpartikel haben oft die gleiche Wirkung, so daß die Sonne im Nebel roter erscheint. Auch an Straßenlaternen kann man diese Erscheinung beobachten, sie sehen um so roter aus, je ferner sie sind. Die Wolken sind gewöhnlich so dick,

daß sie das Sonnenlicht ganz auslöschen, ausgenommen an den Rändern; dort bilden sich die sprichwörtlichen silbernen oder auch goldenen Säume bei Tag und die vertrauten tiefroten Töne bei Sonnenuntergang.

Staub-, Wasserdampf- und Nebelteilchen zerstreuen alles Licht, das durch sie hindurchzugelangen sucht, in höherem oder geringerem Grad, aber rotes Licht wird auf jeden Fall weniger zerstreut als blaues, weil seine Wellen länger sind. Die noch längeren Wellen der infraroten Strahlung sind sogar so lang, daß sie überhaupt kaum zerstreut werden; wären unsere Augen empfindlich für infrarote Strahlung, so würden wir entfernte Gegenstände durch dicken Nebel genau so deutlich sehen wie durch gewöhnliche Luft.

Der photographische Apparat kommt uns zu Hilfe und gleicht die Unzulänglichkeit unserer Augen aus. Wir sagten schon, daß man photographische Platten herstellt, welche für infrarote Strahlen empfindlich sind. Abbildung 35 zeigt, was sie leisten können. Die beiden Bilder darunter (Abbildung 36 und 37) stellen dieselbe Landschaft dar in zwei gleichzeitigen Aufnahmen, einmal mit gewöhnlichem und einmal mit infrarotem Licht. Man beachte, wie klar sich auf dem infraroten Bild entfernte Objekte durch den dazwischenliegenden Dunst hindurch abzeichnen. Wenn die Luft zu dick oder zu neblig ist, als daß unsere Augen entfernte Dinge zu unterscheiden vermöchten, können die infraroten Spezialplatten sie oft erkennen, und will man ferne Gegenstände photographieren, so tut man, ob es neblig ist oder nicht, am besten, die infraroten Platten zu gebrauchen. Auf dem Nordatlantik haben Schiffe

neuerdings die infrarote Photographie benutzt, um die Nähe schwimmender Eisberge festzustellen. Die infrarote Photographie liefert auch einen neuen schlagenden Beweis für die Krümmung der Erde, da ein Flugzeug einen sehr fernen Horizont aus solcher Höhe photographieren kann, daß die Erdkrümmung ganz deutlich sichtbar wird.

III. Kapitel

Der Himmel

Wir wollen unseren Blick jetzt über die Erde und ihre Atmosphäre hinaus auf jene Erscheinungen richten, die man füglich als astronomische bezeichnen kann. Wir sehen am Firmament einen unablässigen Vorüberzug von Himmelskörpern — die Sonne am Tag, Mond und Sterne bei Nacht. Sie alle scheinen sich von Osten nach Westen über den Himmel zu bewegen, weil wir durch die Drehung der Erde, die uns dies Schauspiel vorgaukelt, unaufhörlich von Westen nach Osten im Kreis herumgeführt werden.

Die auffälligste Erscheinung ist fraglos die tägliche Wanderung der Sonne um den Himmel mit ihrem Wechsel von Licht und Dunkelheit, Wärme und Kälte, den wir Tag und Nacht nennen. Der Auf- und Untergang des Mondes und seine Bahn sind kaum weniger auffällig und müssen dem Menschen seit den frühesten Tagen, da er auf der Erde erschien, nicht nur bekannt, sondern ganz vertraut gewesen sein.

Die Sonne zeigt keine Veränderungen, weder an Gestalt noch an Helligkeit, außer wenn unsere eigene Atmosphäre ihr Licht trübt, aber der Mond wechselt beständig in bezug auf beides. Allmonatlich geht er durch den vollen Kreis der Veränderungen, die wir seine

Phasen nennen. Er beginnt als eine dünne Lichtsichel, die an Größe zunimmt, bis sie nach etwa einer Woche zu einer leuchtenden Hemisphäre, dem Halbmond, und nach einer weiteren Woche zur runden Kreisscheibe des Vollmonds wird. Dann nimmt der Mond wieder ab, bis er abermals eine dünne Sichel ist und schließlich ganz verschwindet, zur Zeit des Neumonds.

Während des ersten Stadiums steht der Mond immer in der Nähe der Sonne am Himmel; wenn er wächst, wächst auch seine Entfernung von der Sonne, und wenn er voll ist, befindet er sich der Sonne fast genau gegenüber. Darum steht der Vollmond um Mitternacht immer im Süden.

In welcher Phase der Mond auch sein mag, der beleuchtete Teil seiner Oberfläche ist immer der Sonne zu- und der dunkle Teil von ihr abgewendet. Das weist darauf hin, daß der Mond kein eigenes Licht aussendet und nur dort hell erscheint, wo er von der Sonne beleuchtet wird. Ab und zu geschieht es, daß die Erde sich genau zwischen Sonne und Mond schiebt und so das Sonnenlicht vorübergehend vom Mond fernhält. Wir nennen ein solches Ereignis eine Mondfinsternis, und wenn es geschieht, können wir selbst sehen, daß der Mond kein eigenes Licht hat.

Bei anderen, noch selteneren Gelegenheiten steht der Mond genau zwischen Sonne und Erde; dann haben wir eine Sonnenfinsternis. Auch dann wirkt der Mond, wenn er durch die Sonnenscheibe hindurchgeht, als ein vollkommen dunkler Schirm, und wir haben abermals einen sichtbaren Beweis dafür, daß der Mond kein eigenes Licht besitzt.

Dies alles klingt jetzt, nachdem es längst bekannt ist, als wäre es sehr einfach zu entdecken gewesen. Aber in Wirklichkeit brauchte die Menschheit geraume Zeit dazu. Der primitive Mensch ließ sich leicht irreführen durch das, was sich dem oberflächlichen Blicke darbot, und hatte daher die groteskesten Vorstellungen von der Gestalt, der Bewegung und der physikalischen Beschaffenheit von Sonne, Mond und Sternen. Im 6. Jahrhundert v. Chr. zum Beispiel behauptete der griechische Philosoph Anaximander (etwa 611—546 v. Chr.), Sonne, Mond und Sterne seien nichts als Löcher im Firmament, durch welche ein Feuer von oben hineinschiene. Er glaubte, die Mondphasen rührten von dem allmählichen Öffnen und Schließen des Mondlochs her und die Sonnen- und Mondfinsternisse davon, daß die entsprechenden Löcher ganz zugestöpselt würden.

Einige Jahre später stellt Anaximenes (etwa 585—526 v. Chr.) die Theorie auf, Sonne, Mond und Sterne bestünden aus Feuer, das von der Erde aufgestiegen sei. Er stellte sich die Sonne als ein flaches, feuriges Blatt vor, das vermöge seiner Breite in der Luft schwebte, ungefähr wie ein Gleitflugzeug oder ein Flieger. Der Mond war mehr oder weniger von gleicher Art, die Sterne aber ganz verschieden davon, da sie eher glühenden Nagelköpfen glichen, mit denen die Kristallsphäre des Himmels beschlagen war. Da in diesem Bild nichts vorkam, was die Finsternisse hätte erzeugen können, mußte Anaximenes annehmen, daß der Himmel auch dunkle Körper von „erdhafter Natur" enthielte. Er sagte es zwar nicht ausdrücklich, aber vermutlich besorgten diese die Verfinsterung, indem sie

sich zwischen unsere Erde und das Licht der Sonne oder des Mondes schoben.

Der nächste war Xenophanes (geb. um 570 v. Chr.) mit seiner Lehre, daß Sonne, Mond und Sterne eine Schar von Feuerwolken seien, die über den Himmel zögen. Er glaubte — wie vor ihm die Ägypter —, daß jeden Tag eine neue Sonne aufgehe, denn die des vorigen sei zu weit nach Westen gewandert, um noch sichtbar zu sein; ab und zu sollte eine der Feuerwolken ausbrennen, wodurch dann eine Finsternis entstand.

Heraklit (geb. um 544 v. Chr.) hielt Sonne, Mond und Sterne für eine Art Schalen, in welchen sich glühende Ausdünstungen von der Erde sammelten und dann in Flammen aufschlugen. Die Mondschale drehte sich langsam, und dadurch nahm der Mond ab und zu und durchlief seine bekannten Phasen. Wenn die Schalen von Sonne oder Mond zufällig ganz von uns fortgedreht waren, kam es zu einer Finsternis.

Bis dahin war niemand der Wahrheit nahe gekommen; da gab Anaxagoras (geb. um 500 v. Chr.) durch den Blitz einer einzigen Einsicht die wahre Erklärung. Er sagte, der Mond sei von „erdähnlicher Natur" und es gäbe darauf „Ebenen und Schluchten"; sein Licht bezöge er von der Sonne. Seine Phasen seien die natürliche Folge davon, daß er dem Lauf der Sonne folge, von welcher er beleuchtet würde. Auch sprach Anaxagoras bereits klar aus, daß eine Mondfinsternis dadurch zustande käme, daß der Mond durch den Schatten der Erde hindurchgehe, wenn diese direkt zwischen Sonne und Mond stünde, und daher immer bei Vollmond eintreten müsse; während eine Sonnenfinsternis dem

Durchgang des Mondes zwischen Sonne und Erde zuzuschreiben sei und sich daher nur bei Neumond ereignen könne.

Die ersten verschwommenen Vorstellungen über die physische Natur von Sonne und Mond waren verständlicherweise von ebenso verschwommenen Vorstellungen über ihre Größe und Entfernung begleitet. Da Sonne und Mond am Himmel immer ungefähr gleich groß aussehen, ist es klar, daß sie immer in etwa den gleichen Entfernungen von der Erde bleiben müssen, aber über diese Entfernungen gab es endlose Meinungsverschiedenheiten. Anaximander hatte behauptet, daß die Sonne so groß sei wie die Erde; einige Jahre später gab Heraklit ihr nur 30 cm im Durchmesser, während Anaxagoras einen mittleren Standpunkt einnahm und dafür hielt, sie sei größer als der Peloponnes. Die erste ernsthafte Anstrengung zur Entdeckung der wahren Tatsachen machte Aristarch von Samos (etwa 310—230 v. Chr.); er ging auf die einzig mögliche Art vor, indem er Berechnungen anstellte, die sich auf tatsächliche Messungen stützten.

Bei Halbmond erscheint uns genau die halbe Mondoberfläche von der Sonne beleuchtet, so daß der Winkel EMS in Abbildung 40 ein rechter sein muß. Wenn nun der Winkel MES zwischen Mond und Sonne gemessen wird, sind alle Winkel in dem Dreieck EMS bekannt, und es ist leicht, daraus das Seitenverhältnis des Dreiecks herzuleiten. Aristarch schätzte, daß der Winkel MES um 3° von einem rechten abweiche und schloß daraus, daß die Sonne zwischen 18- und 20mal weiter entfernt sei als der Mond. Dies war noch keine

gute Abschätzung, denn in Wirklichkeit ist der Winkel um weniger als den zwanzigsten Teil von 3° kleiner denn ein rechter, und die Sonne ist ungefähr 400mal weiter entfernt als der Mond.

Aristarch hatte auch ein sinnreiches Mittel, die Distanzen selbst zu messen. Bei einer Mondfinsternis wird ein Teil des Erdschattens auf das Antlitz des Mondes geworfen; es ist immer nur ein Teil, denn der

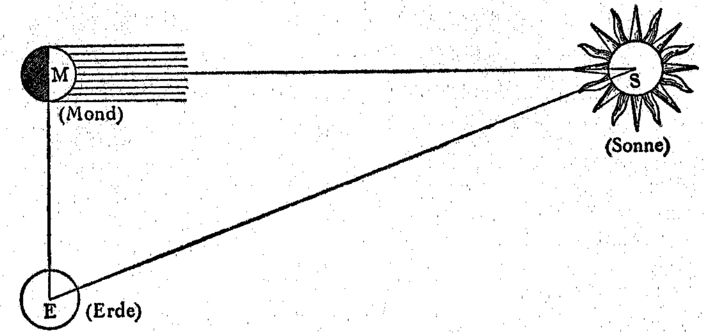


Abb. 40. Schematische Darstellung der geometrischen Methode mittels derer Aristarch von Samos die Entfernungen von Sonne und Mond zu messen versuchte

ganze Schatten ist weit größer als der Mond, er hat in Wirklichkeit den vierfachen Durchmesser des Mondes. Aristarch schätzte jedoch, daß der ganze Schatten doppelt so groß sei wie der Mond, und schloß daraus, daß die Erde selbst die doppelte Größe des Mondes habe. Nachdem er auf diese Weise die Größe des Mondes bestimmt hatte, war es leicht, seine Entfernung aus dem Winkel abzuleiten, unter welchem er am Himmel erscheint. Der Mond hat am Himmel etwa die Größe einer Scheibe von 2½ cm Durchmesser in einer Entfernung von 2,7 m, und wenn ein Körper von 3200 km

im Durchmesser so klein erscheinen soll, muß er 380 000 km entfernt sein.

Das ist eine moderne Rechnung; Aristarchs Messungen steckten leider so voller Fehler, daß er von den wahren Werten der Größen, die er zu bestimmen suchte, sehr weit entfernt blieb. Er maß, wie wir schon sahen, den Winkel MES falsch und nahm an, daß der Erdschatten auf der Mondscheibe nur zweimal statt viermal so groß sei wie der Durchmesser des Mondes selbst. Außerdem setzte er die scheinbare Größe des Mondes am Himmel 4mal zu groß an und kannte die Ausmaße der Erde nur sehr ungenau; es mußten noch einige Jahre vergehen, bevor Eratosthenes die überraschend genaue Schätzung machte, über die wir schon gesprochen haben.

Wir sahen, daß die Erde sich im Raum dreht, während die sogenannten Fixsterne, wie Arktur und Sirius, immer in derselben Richtung im Raum stehen und dadurch einen festen Hintergrund bilden. Sonne und Mond bewegen sich vor diesem Hintergrund und ebenso die anderen Himmelskörper, die wir Planeten nennen — von dem griechischen Wort *πλανήτες*, Wanderer. Die fünf eindrucksvollsten — Venus (der Morgen- und Abendstern), Jupiter, Mars, Saturn und Merkur — waren bekannt, bevor die Astronomie zu dämmern begann, wenn man sich auch nicht immer klar darüber war, daß die Venus ein einziger Stern ist, der abwechselnd morgens und abends am Himmel steht, und daß dasselbe für den Merkur gilt. Die Babylonier allerdings scheinen es gewußt zu haben, und im 6. Jahrhundert v. Chr. sehen wir Pythagoras und Parmenides es den

Griechen erklären. Viel später wurden, schon ganz innerhalb unserer eigenen Zeit, drei weitere Planeten entdeckt — Uranus 1781, Neptun 1846 und Pluto 1930. Außer diesen großen gibt es Tausende von winzig kleinen Planeten, die als die „kleinen Planeten" oder „Asteroiden" bekannt sind (S. 174).

Bei oberflächlicher Beobachtung sieht es aus, als wandelten die Planeten auf rechten Irrwegen. Andere Himmelskörper ziehen in würdiger und stetiger Bewegung von Osten nach Westen über den Himmel, aber die Planeten bleiben oft zurück im Zug und können gelegentlich darauf ertappt werden, daß sie von West nach Ost in der sogenannten Rückwärtsbewegung zwischen den Sternen hindurchgehen. In regelmäßigen Abständen führt diese retrograde Bewegung die Venus und den Merkur auf die andere Seite der Sonnenscheibe zurück, worauf sie aufs neue ansetzen und wieder nach vorn kommen; so besteht die Bewegung dieser beiden Planeten aus einem beständigen Hinundherschwingen um die Sonne, wobei der westliche Ausschlag immer viel schneller ausgeführt wird als der östliche.

Die Bewegungen der Planeten bilden einen so auffälligen Gegensatz zu dem ordentlichen Gehaben der Fixsterne, daß sie den Alten nicht wenig zu denken gaben. Die Pythagoräer bestanden darauf, daß die scheinbare Irregularität eine Täuschung und die wahre Bewegung der Planeten dennoch auf irgendeine Art vollkommen ebenmäßig sein müsse. Geminus schrieb, „die Idee einer solchen Unordnung in göttlichen und ewigen Dingen, wie daß die Planeten sich zu Zeiten

rascher und zu anderen langsamer bewegen und manchmal stillstehen, ist unerträglich. Schon im Fall eines gesetzten und ordentlichen Mannes auf einer Reise wird man nicht gern an eine solche Unregelmäßigkeit glauben", während Plato allen ernsthaften Studenten empfohlen haben soll, herauszufinden, „welche gleichförmigen und geordneten Bewegungen" imstande seien, die Planetenbahnen zu erklären.

Es ist eine Sache der täglichen Erfahrung, daß ein Gegenstand, welcher zwei verschiedene Bewegungen zur selben Zeit ausführt, in Wirklichkeit einen recht komplizierten Weg im Raum zurücklegt, während jede der beiden Bewegungen außerordentlich einfach ist. Wenn ich auf einer geraden Straße Rad fahre, ist die kreisende Bewegung meines Fußes am Ende des Pedals sehr einfach, und dasselbe gilt für die Bewegung des Fahrrads auf der Straße, und trotzdem bewegt sich mein Fuß auf einer sehr komplizierten Bahn durch den Raum. Die älteren Astronomen versuchten wieder und wieder, die verwickelten Planetenbahnen am Himmel auf ähnliche Weise zu erklären.

Den ersten Anlauf nahm Eudoxos von Knidos im 4. Jahrhundert (408—355 v. Chr.). Er versucht, die Planetenbewegung durch Systeme ineinandergeschachtelter Räder oder besser Kugeln zu erklären. Diese Kugeln hatten alle denselben Mittelpunkt, die Erde, aber jede war drehbar aufgehängt innerhalb der sie zunächst umschließenden, und alle Kugeln drehten sich in verschiedenen Richtungen. Jeder Himmelskörper hatte sein eigenes System solcher Sphären und sollte selbst an der äußersten befestigt sein. Eudoxus fand, er

brauche drei Sphären je für Sonne und Mond und vier für jeden der fünf Planeten — 26 Kugeln im ganzen. Später sah Kallippus (etwa 370—300 v. Chr.), daß selbst dieses sinnreich ausgetüftelte System die Erscheinungen nicht vollständig zu erklären vermochte, und fügte sieben weitere Sphären hinzu, so daß es nunmehr im ganzen 33 waren.

Das Schema wurde dadurch sehr kompliziert, aber fast gleichzeitig erfolgte eine Rückkehr zur Einfachheit — und ein gewaltiger Schritt vorwärts — durch Heraklides von Pontus, als den Entdecker der Rotation der Erde. Er bemerkte, daß man keine komplizierten Systeme von Rädern oder Sphären brauchte, um die Bewegungen der Venus und des Merkur zu erklären; man hatte nur die Annahme zu machen, daß diese Planeten ganz und gar nicht um die Erde kreisten, sondern um die Sonne wie Satelliten. Dann tat Aristarch von Samos einen entscheidenden Schritt, indem er annahm, daß auch die Erde um die Sonne kreise. Wir zitieren die Darstellung bei Archimedes (287—212 v. Chr.): Aristarch von Samos veröffentlichte ein Buch, bestehend aus gewissen Hypothesen, worin die Prämissen zu dem Schluß führen, daß das wirkliche Universum viele Male größer ist als das, was man jetzt so nennt. Seine Hypothesen besagen, daß die Fixsterne und die Sonne feststehen, daß die Erde sich auf der Peripherie eines Kreises um die Sonne bewegt, wobei die Sonne im Mittelpunkt der Bahn liegt, und daß die Sphäre der Fixsterne, welche um dasselbe Zentrum herum gelegen ist wie die Sonne, so groß ist, daß der Kreis, auf welchem sich nach seiner Meinung die Erde bewegt, in demselben Verhältnis

zu dem Abstand der Fixsterne steht wie das Zentrum der Fixsternsphäre zu ihrer Oberfläche.

Ansichten wie diese erfreuten sich jedoch keiner Beliebtheit zur Zeit des klassischen Griechenland — genau so wenig wie irgendwann sonst. Der Mensch hat es nie gern gehört, daß sein Haus im Raum nicht die Nabe der Welt sei, wie er sich so oft andächtig vorgestellt hat, sondern nur ein Stäubchen, welches um ein anderes Stäubchen kreist, das Ganze in so winzigem Maßstab, daß es nur wie ein Punkt ist in der weiten Sphäre der Welt. So lesen wir bei Plutarch, daß Kleanthes geeifert habe, Aristarch sei der Gottlosigkeit anzuklagen, weil er „den häuslichen Herd des Weltalls verrücke, indem er die Hypothese aufstelle, daß der Himmel ruhe, die Erde sich dagegen in dem schiefen Kreis der Ekliptik bewege und zugleich sich auch um ihre Achse drehe“. Aristarch lehrte die Menschen eine Wahrheit, die ihnen unschmackhaft schien, aber sie fanden leicht andere Astronomen, die nur zu bereit waren, ihnen alles zu erzählen, was sie wollten.

Nach Aristarch benutzte man nahezu zweitausend Jahre hindurch zur Erklärung der Planetenbewegung am liebsten Zyklen und Epizyklen — aber nicht Eudoxos' Räder in Rädern, sondern eher Räder auf Rädern. Heraklit hatte angenommen, daß sich Merkur und Venus um die Sonne drehten, während die Sonne selbst um die Erde kreiste. Man fand bald, daß eine Verallgemeinerung dieses Schemas die Bewegung aller Himmelskörper erklärte. So blieb, trotz Aristarch, die Erde noch der Mittelpunkt des Universums; A drehte sich um die Erde, B um A, C um B usw., bis schließlich ein Punkt auf dem Rand des letzten Rades genau die beobachtete Bewegung eines Planeten darstellte.

Um 150 n. Chr. gab Ptolemäus von Alexandrien dieser Theorie der Zyklen und Epizyklen eine Form, die fast unangefochten das ganze Mittelalter überdauerte. Hier und da mag ein Zweifler seine Bedenken geäußert haben, aber es wurde kein ernsthafter Einwand gemacht, bis im Jahr 1543 Kopernikus das ganze Ptolemäische System durch ein anderes ersetzte, welches dem vor 1800 Jahren von Aristarch von Samos aufgestellten außerordentlich ähnlich sah. Seine Annahme war in Kürze, daß die Sonne still stünde, während die Erde und die anderen fünf Planten sich um sie drehten. 66 Jahre später bestätigte das Teleskop Galileis die Wahrheit dieser Hypothese.

Doch erwies es sich, daß solche Theorien im mittelalterlichen Europa nicht beliebter waren als im alten Griechenland, und Kopernikus hatte sehr weltklug gehandelt, als er mit der Veröffentlichung seines Buches zurückhielt, bis er auf dem Totenbett lag. Galilei, weniger begabt mit Klugheit dieser besonderen Art, verkündete kühn, was er für wahr hielt, und brachte sich für den Rest seines Lebens in die unangenehmsten Konflikte mit den kirchlichen Autoritäten.

Es ist in der Tat, wie Aristarch und Kopernikus behaupteten: die Planeten scheinen sich unregelmäßig zu bewegen, weil wir auf der Erde das Schauspiel von einer exzentrischen Stelle aus beobachten; wir sind wie Zuschauer in einem Theater, denen sich die Szene nicht in ihrer richtigen Ansicht darstellt, weil sie zu weit rechts oder links von der Bühne sitzen. Die Sonne bietet

den geeigneten zentralen Platz, von dem die Planetenbewegung betrachtet werden muß, und ein Beobachter, der sich auf der Sonne niederließe, würde sehen, wie jeder Planet mit äußerster Regelmäßigkeit immer aufs neue die gleiche kreisförmige Bahn wiederholt. Er würde auch sehen, daß die Planetenbahnen alle nahezu in derselben Ebene liegen, einer Ebene, die um den kleinen Winkel von etwa 7° zu dem Sonnenäquator geneigt ist.

Genau so wie für diesen Beobachter auf der Sonne unsere Heimat, die Erde, einen Kreis um den Himmel beschreibt, sehen wir von unserem Platz auf der Erde aus seine Heimat, die Sonne, auf kreisförmiger Bahn das Firmament umwandern. Diese scheinbare Bahn der Sonne durch den Himmel heißt die Ekliptik, und da sich alle anderen Planeten nahezu in derselben Ebene bewegen wie die Erde, sehen wir auch sie fast die gleiche Bahn am Himmel beschreiben wie die Sonne. Die drei nächsten Planeten — Venus, Mars und Merkur — weichen davon zu gewissen Zeiten um Entfernungen bis zu je 9, 7 und 5° ab, aber die anderen fünf niemals auch nur um 3°. So liegen die Bahnen der Sonne und der Planeten alle innerhalb eines schmalen Bandes am Himmel. Dies schmale Band war im Altertum den Ägyptern und Babyloniern und wahrscheinlich durch die Babylonier auch den Griechen bekannt. Es heißt der Zodiakus.

Den Alten bedeuteten die Sterne nichts weiter als Lichtpunkte am Himmel, aber es mußte ihnen auffallen, daß diese Lichtpunkte sich ganz natürlich zu Gruppen zusammenordnen, die wir heute als die Konstellationen bezeichnen. Sie nannten sie nach Tieren,

mythologischen Helden oder vertrauten Gegenständen — manchmal wegen einer angeblichen Ähnlichkeit, die jedoch vielfach recht weithergeholt war, aber meist aus keinem besonderen Grund. Die Babylonier teilten den Zodiakus in zwölf gleiche Teile und setzten ein Sternbild in jeden. Diese Sternbilder waren ursprünglich alle nach Tieren benannt und sind es noch heute bis auf eine Ausnahme. Zodiakus heißt Tierkreis, und die zwölf Sternbilder sollten die Häuser von Tieren darstellen, welche die Sonne nacheinander, eines in jedem Monat, besuchte, während sie sich über den Himmel bewegte. Aus astronomischen Gründen beginnt man die Liste gewöhnlich im April oder genauer mit der Frühlings-Tag-und-Nacht-Gleiche. Man kann sich die zwölf Konstellationen in ihrer richtigen Reihenfolge mit Hilfe des folgenden lateinischen Verses merken:

Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo,
Libraque, scorpius, arcitenens, caper, amphora, pisces.

Die Griechen und die Ägypter hatten ganz ähnliche Namen für eine Reihe der Sternbilder im Zodiakus, aber die Chinesen benennen sie nach zwölf anderen Tieren. Statt Widder, Stier, Zwillinge, Krebs haben sie Hund, Hahn, Affe, Widder usw.

Der übrige Himmel wurde ebenfalls in Sternbilder eingeteilt, von denen einige bei sehr alten Schriftstellern erwähnt werden. Der Orion und der Große Bär kommen bei Homer und im Buch Hiob vor, während der Kleine Bär im 7. Jahrhundert v. Chr. von Thales beschrieben wird. Eine große Anzahl der Sternbilder sind vielen Sprachen und Völkern gemeinsam. Das Sternbild des Orion zum Beispiel wird oft mit einem Jäger oder

Helden zusammengebracht und das des Stiers mit einem grimmigen Tier.

Alle Sternbilder, die vom alten Griechenland aus sichtbar waren, sind im 4. Jahrhundert v. Chr. von Eudoxos, einem Schüler Platos, auf einem Himmelsglobus aufgezeichnet und später von Aratus in Versen beschrieben worden. Sie sind alle auf irgendeine Weise verbunden mit den Sagen oder Märchen lange vergangener Zeiten, entweder aus dem klassischen Griechenland oder aus noch früheren Zivilisationen. So lesen wir von Helike und Kynosura, von dem Großen Bär und von dem Kleinen Bär, der ein Jäger war und in einen Bären verwandelt wurde, damit er seine Mutter nicht töte, welche Juno aus Eifersucht schon vorher in eine Bärin verwandelt hatte; oder von Herkules (den Aratus nur „den knienden Mann“ nennt) und dem Drachen; oder — und das ist das Schönste von allem, eine wirklich spannende Geschichte — von Perseus, der noch gerade rechtzeitig anlangt zur Rettung der an eine Klippe im Meer gefesselten Andromeda, während Cetus, das Seeungeheuer, schon heranschwimmt, um sie zu verschlingen. Er hält Cetus das Medusenhaupt entgegen, das jedermann versteinert, der es ansieht — ein Schicksal, dem nur er entkam, weil er es klüglich im Spiegel betrachtete.

Die Griechen waren keine großen Reisenden, so daß es Teile des Himmels südlich des Äquators gab, die sie niemals sahen und also nicht in Sternbilder einteilen konnten. Es ist schade, denn die Neueren, welche die Konstellationen in jenen Gegenden des Himmels benannten, nahmen sich nicht immer die Würde und

Einfachheit der alten Namen zum Muster. So sehen wir dort Sternbilder auftauchen wie die Druckerei, die Staffelei, der Grabstichel, der chemische Ofen und noch lächerlichere wie die Ehren Friederichs, die Harfe der George, der Eichbaum Karls des Ersten. Noch neueren Datums ist der Versuch des französischen Astronomen Lalande, eine Katze in den Himmel einzuschmuggeln. Er schrieb: „Ich liebe Katzen; ich finde sie reizend; man mag mir verzeihen, wenn ich nach sechzig Jahren unermüdlicher Arbeit eine an den Himmel versetze.“ Aber sie ist seitdem wieder verschwunden, vielleicht weil ihr die Gesellschaft ihrer Nachbarn, des Großen Hundes, des Kleinen Hundes und der Jagdhunde, mißfiel.

Da Griechenland etwa 40° nördlich des Äquators liegt, müssen die Teile des Himmels, welche man im alten Griechenland nicht sehen konnte, innerhalb einer Entfernung von 40° vom Südpol gelegen haben. Vernünftigerweise sollten wir demnach erwarten, daß alle Sternbilder mit neuzeitlichen Namen innerhalb eines Kreises mit einem Radius von 40° um den Südpol als Mittelpunkt gelegen sind.

Wir finden in der Tat, daß sie, grob gesprochen, alle innerhalb eines Kreises mit einem Radius von 40° liegen, nur ist der Südpol nicht sein Mittelpunkt. Und der Grund hierfür ist ebenso interessant wie aufschlußreich.

Die Erde dreht sich im Raum wie ein Kreisel, aber ihre Achse weist nicht immer in dieselbe Richtung. Die Gravitationskraft der Sonne zieht beständig an der Ausbauchung um den Erdäquator; und da dieser Zug die



Abb. 41a. Die Sternbilder nördlich der Ekliptik. Der Nordpol ist nicht im Mittelpunkt des Bildes, sondern dort, wo der kleine punktierte Kreis den Schwanz des Kleinen Bären schneidet. Da die Erde im Raum wackelt, bewegt sich der Nordpol der Erdachse um diesen kleinen Kreis herum mit einer Geschwindigkeit von einer Umdrehung in 26 000 Jahren



Abb. 41b. Die Sternbilder südlich der Ekliptik. Die Sternbilder des Tierkreises (siehe S. 110) liegen auf der Peripherie dieser Abbildung oder der Abbildung 41a

Erdachse im Raum herumdreht, wackelt der Erdkreisel, so wie ein gewöhnlicher Schuljungenkreisel, wenn er nahe am Umfallen ist.

Man hat gefunden, daß die Erdachse auf diese Weise einmal in 26 000 Jahren durch einen vollen kleinen Kreis hindurchtorkelt. Im Augenblick zeigt sie auf die Schwanzspitze des Kleinen Bären, aber vor 4000 Jahren zeigte sie auf sein linkes Ohr und vor 5000 Jahren auf seine Nasenspitze. Vor 13 000 Jahren stand der ganze Kleine Bär tief am nördlichen Himmel, während die Erdachse auf die Vega wies, die heute ziemlich nahe dem Horizont steht. Weil also der Drehkreisel, auf dem wir leben, im Raum wackelt, sehen die Bewohner Griechenlands in verschiedenen Zeitaltern verschiedene Teile des Himmels — genau wie sich uns auf einem schaukelnden Schiff immer wieder ein anderes Bild durch das Bullauge unserer Kabine darbietet. Dadurch erklärt es sich, warum viele südliche Sternbilder, wie z. B. der Kentaur, griechische Namen haben; jene Teile des Himmels sind heute von Griechenland aus nicht sichtbar, aber sie waren es vor 4000 Jahren, als man noch an Kentauren glaubte.

Dagegen waren die Konstellationen, die Aratus in seinem Gedicht erwähnt, zu seiner eigenen Zeit von Griechenland aus schon nicht mehr alle sichtbar; man hatte sie von jenen Breiten rund 2500 Jahre früher, d. h. um 2800 v. Chr. sehen können. So scheint es fast, als habe Aratus seine Beschreibungen lediglich übernommen von anderen Völkern, welche um jene Zeit in denselben Breiten wie Griechenland wohnten. Das weist auf die Babylonier hin, besonders da aus anderen Zeug-

nissen hervorgeht, daß ihnen wenigstens einige der Hauptsternbilder sogar schon in einer viel früheren Zeit bekannt waren.

Die Sternbilder danken ihre vertrauten Umrisse und zuweilen auch ihre Namen den hellsten Sternen in ihnen, aber sie enthalten auch eine große Zahl schwächerer Sterne, von denen wir viele nur gerade noch mit bloßem Auge und die meisten überhaupt nicht ohne Hilfe eines Fernrohrs sehen können.

Ein menschliches Auge von durchschnittlicher Stärke sieht bei günstigen Bedingungen eben noch den Schein einer einzelnen Kerze in einer Entfernung von etwas über 9½ km. Wenn wir das Licht dämpfen oder weiter wegrücken, sehen wir nicht ein schwächeres Licht, sondern überhaupt kein Licht mehr. Wir bezeichnen darum auch das Licht, das wir von einer einzelnen Kerze in einer Entfernung von rund 9½ km empfangen, als die Sehschwelle.

Wir wollen diese Lichtmenge jetzt als unsere Helligkeitseinheit ansehen, so daß der schwächste Stern, den wir mit bloßem Auge sehen können, gerade die Helligkeit von einer Einheit besitzt. Gemessen mit diesem Maßstab hat der hellste Stern, den wir sehen können, der Sirius, eine Helligkeit von 1080 Einheiten — mit anderen Worten, er scheint so hell wie eine Lampe von der Kerzenstärke 1080 in einer Entfernung von etwa 9½ km —, während der nächsthellste, Canopus, der tief am südlichen Himmel steht, nur 550 Einheiten besitzt. Diese beiden Sterne übertreffen die anderen bei weitem; ihre nächsten Rivalen gehören zu einer Folge von Sternen, deren jeder etwa 200 Helligkeitseinheiten aufzu-

weisen hat: Vega 220, Capella 205, Arktur 200, α-Centauri und Prokyon je 180 usw. Es gibt am ganzen Himmel nur etwa 20 Sterne, welche die Helligkeit von 100 oder mehr Einheiten haben. Nach ihnen kommen etwa 200 weitere zwischen 100 und 10 Einheiten und dann 4500 zwischen 10 und 1. Das ist eine vollständige Liste der Sterne, die wir mit bloßem Auge sehen können, d. h. aller Sterne, deren Helligkeit mindestens eine Einheit beträgt. Es gibt also am ganzen Himmel nur etwa 4720 — und zwar nicht nur in demjenigen Teil, den wir sehen können, sondern auch in dem Teil, der für uns unter dem Horizont liegt. In einem bestimmten Augenblick steht nur etwa die Hälfte hiervon über dem Horizont, und selbst von diesen wird noch eine beträchtliche Anzahl von den Nebeln oder Wolken am Himmelsrand verborgen werden. Im ganzen kann ein Mensch mit normalen Augen zufrieden sein, wenn er 2000 Sterne auf einmal am Himmel erblickt; wer besonders scharfe Augen hat, mag auch noch mehr erkennen können.

Den meisten Leuten fällt es schwer zu glauben, daß die Zahl so klein ist; wenn sie schätzen sollen, wieviel Sterne sie sehen können, nennen sie gewöhnlich eine viel zu hohe Zahl — es sei denn, sie hätten Bücher über Astronomie gelesen und wüßten die Antwort.

In England gibt es noch ein anderes Ratespiel, wobei das Opfer aufgefordert wird, anzugeben, wie viele Threepenny-Stücke man flach auf ein Halfcrown-Stück legen kann, ohne daß sie sich überdecken. Die Antwort ist, keines, aber die meisten Leute sind sicher, daß sie zwei darauflegen können — bis sie es versucht haben. Eine Frage derselben Art ist: „Wie viele sichtbare Sterne

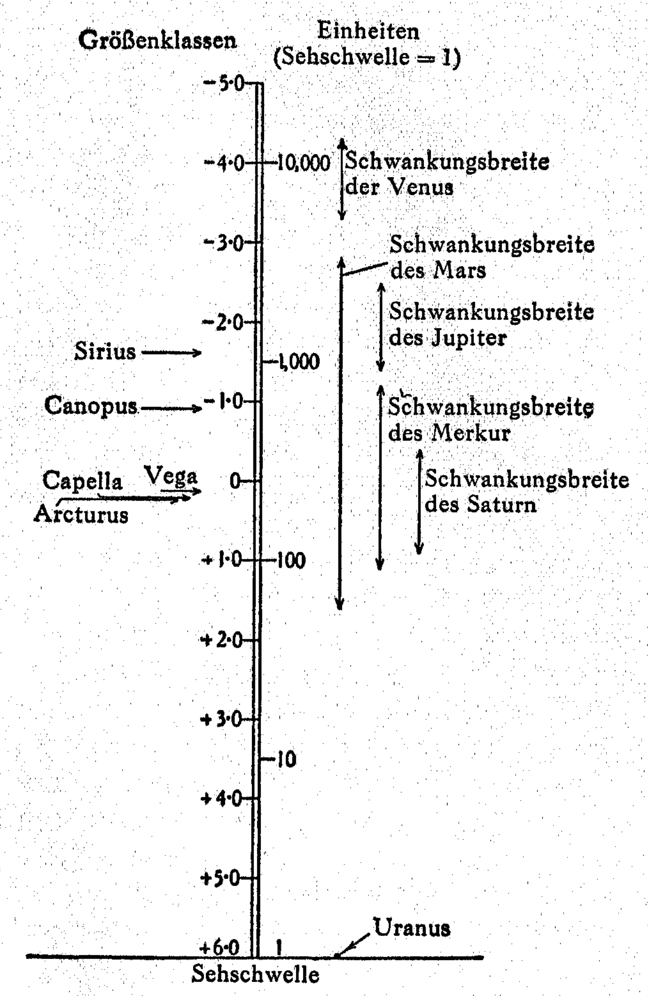


Abb. 42. Skala der Helligkeiten. Die Zahlen rechts stellen Vielfache unserer Helligkeitseinheit dar, bei welcher die Sehschwelle als Einheit benutzt wird. Die Zahlen links bedeuten die Größenklassen der Sterne, mittels derer die Astronomen die Helligkeit messen. Das Verhältnis der beiden Maße zueinander erhält man, indem man die Zahlen auf beiden Seiten der Mittellinie vergleicht. Die Helligkeiten einiger Sterne sind auf der linken Seite der Zeichnung angegeben, die der Planeten auf der rechten

kann der Vollmond uns verdecken?" Mit anderen Worten, wie viele Sterne erblickten wir mit bloßem Auge hinter dem Vollmond, wenn dieser plötzlich transparent würde, so daß wir durch ihn hindurchsehen könnten? Die Antwort ist, keinen einzigen, was sich wiederum die meisten Leute einfach nicht vorstellen können.

Sonne und Mond sind so hell, daß ihre Größe gewöhnlich bei weitem überschätzt wird. Jeder von ihnen braucht einen ganzen Tag zu seiner Reise um den Himmel, und wir können leicht nachweisen, daß jeder nur zwei Minuten braucht, um einen Weg von der Länge seines eigenen Durchmessers zurückzulegen — mit anderen Worten, die ganze Sonne oder der ganze Mond gleitet an einem festen Punkt in zwei Minuten vorbei. Daraus folgt, daß man 720 Sonnen oder Monde nebeneinander legen müßte, wenn man mit ihnen eine Kreisbahn um den Himmel pflastern wollte. Und hieraus können wir berechnen, daß wir 200 000 Sonnen bzw. Monde brauchten, um den ganzen Himmel mit ihnen auszutapezieren. Das macht mehr als 42 auf jeden sichtbaren Stern, und die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein sichtbarer Stern hinter der Mondscheibe stehen könnte, ist kleiner als ein Vierzigstel.

Sobald wir das Teleskop zu Hilfe nehmen, wächst die Anzahl der sichtbaren Sterne in großen Sprüngen. Die Hauptaufgabe eines Fernrohrs ist, die Lichtwellen zu sammeln, die auf eine große Fläche, das Objektiv oder den Spiegel des Fernrohrs, auffallen. Darauf wirft es diese Wellen in unsere Augen, auf dieselbe Art wie eine Ohrtrompete Schallwellen sammelt und in das Ohr hineinwirft. Das menschliche Auge hat einen Durchmesser von ½ cm, so daß ein Fernrohr von 2½ cm Durchmesser 25mal mehr Licht sammelt als das bloße Auge und uns instandsetzt, alle Sterne zu sehen, deren Helligkeit größer ist als $^1/_{25}$ unserer Einheit von vorhin. Es gibt ungefähr 225 000 Sterne dieser Art, so daß schon ein 2½-cm-Fernrohr uns 220 000 Sterne mehr zeigt, als wir ohne es sehen können — das sind nahezu 50 neue Sterne auf je einen alten. Das große 100-inch- (d. h. 2½-m-) Fernrohr auf dem Mount Wilson zeigt uns Sterne, deren Helligkeit etwa den dreimillionsten Teil unserer Helligkeitseinheit beträgt; ihre Gesamtzahl ist rund 1500 Millionen. Aber selbst diese große Zahl ist, wie wir später sehen werden, nur ungefähr 1 vH der Gesamtzahl aller Sterne.

Trotz der ungeheuren Anzahl der Sterne ist jedoch das Licht, das sie spenden, nicht gerade überwältigend. Das Gesamtlicht, das wir von allen Sternen am Himmel mit Ausnahme der Sonne empfangen, beträgt nur etwa 100 000 Einheiten; das ist weniger als der hundertmillionste Teil des Sonnenlichts; es ist so viel wie das Licht einer einzelnen Kerze in einer Entfernung von etwa 30 m.

Die Sterne leuchten mit eigenem Licht, aber die Planeten nur, weil sie von der Sonne beschienen werden. Dadurch sendet ein Planet natürlich ungeheuer viel weniger Licht aus als ein Stern, aber seine Nähe kann oft seine Lichtschwäche kompensieren, ja bei weitem überkompensieren, so daß ein Planet gelegentlich das hellste Objekt am ganzen Himmel ist.

Ein ungeschulter Beobachter wird bei einem bloßen oberflächlichen Blick auf den Himmel nicht immer im-

stande sein, einen Planeten von einem Stern zu unterscheiden, doch mag es ihm helfen, sich daran zu erinnern, daß ein Planet immer nur um eine kurze Strecke von der Sonnenbahn, der Mittellinie des Tierkreises, entfernt sein kann. Die hellsten Planeten, Venus, Mars und Jupiter, kann man häufig schon an ihrer bloßen Helligkeit erkennen (vgl. Abbildung 42). Die Venus ist, wenn sie überhaupt sichtbar ist, immer der hellste Stern am Himmel, aber Mars und Jupiter sind manchmal heller und manchmal schwächer als der hellste Stern, der Sirius.

Die meisten Sterne leuchten mit gleichmäßigem Licht, und da sie immer in der gleichen Entfernung von uns stehen, verändert sich ihre Helligkeit nicht. Die Helligkeit der Planeten dagegen wechselt aus zwei Gründen. Während sie um die Sonne kreisen, wechselt ihre Entfernung von uns beständig, und ebenso wechselt das Stück ihrer Oberfläche, das für uns beleuchtet erscheint. Dieser Wechsel ist am ausgeprägtesten bei unserem nächsten Nachbarn, der Venus; ihre beleuchtete Oberfläche und ihr scheinbarer Durchmesser schwanken auf die in Abbildung 43 dargestellte Art. Es ist danach klar, daß die Venus nicht am hellsten erscheinen kann, wenn sie uns am nächsten steht, denn dann sehen wir nur eine dünne erleuchtete Sichel von ihr, gleich der des Mondes im ersten Viertel; und ebensowenig erscheint sie uns am hellsten, wenn ihre volle Oberfläche beleuchtet ist, denn dann ist sie so weit von uns entfernt, daß ihre Scheibe sehr klein aussieht. Am hellsten ist sie in einer Lage dazwischen, in welcher sie die auf Abbildung 43 (c) dargestellte Gestalt hat. Sie leuchtet

dann mit 13 000 Helligkeitseinheiten und erscheint also 12mal heller als der Sirius. Auch Mars und Jupiter leuchten, wenn sie am hellsten sind, mit 3300 bzw. 2500 Einheiten, so daß sie beide beträchtlich viel heller er-

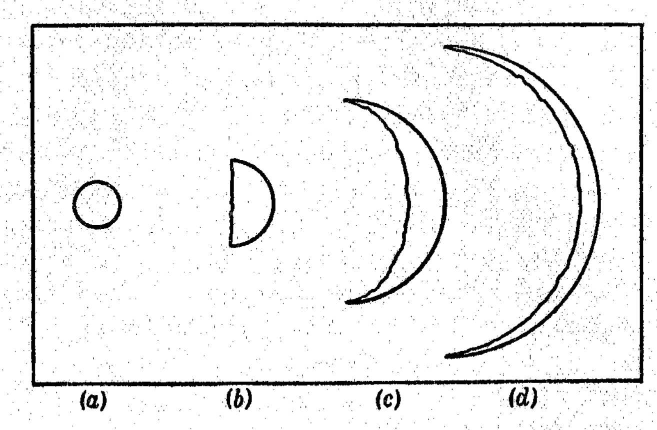


Abb. 43. Die Phasen der Venus: (a) wenn sie am weitesten von der Erde entfernt ist — ein Kreis von $9^1/_2$ Sekunden Durchmesser; (b) wenn sie am Himmel den größten Abstand von der Sonne hat — ein Halbkreis von 18 Sekunden Durchmesser; (c) wenn sie am hellsten ist — eine Sichel von 40 Sekunden Durchmesser; (d) wenn sie den größten Durchmesser hat, bei welchem sie sichtbar ist — eine Sichel von 62 Sekunden Durchmesser. Wenn sie der Sonne noch näher rückt, wächst ihr Durchmesser weiter bis zu 63 oder 64 Sekunden, aber sie wird dann so sehr vom Glanz der Sonne überstrahlt, daß sie unsichtbar wird

scheinen können als der Sirius; aber die anderen Planeten können es nicht mit den hellsten Sternen aufnehmen, der Merkur hat höchstens 760 und der Saturn nur 360 Einheiten.

Der Vollmond hat eine Helligkeit von 26 Millionen Einheiten und ist demnach 2000mal heller als die Venus, wenn sie am hellsten ist; und die Sonne bescheint

uns im vollen Tageslicht mit 12 300 000 000 000 Einheiten, d. h. sie ist fast eine halbe Million mal heller als der Vollmond.

Es mag überraschend erscheinen, daß so viel Licht uns nicht blendet, da unsere Augen andererseits empfindlich genug sind, um eine einzige Lichteinheit wahrzunehmen. Unsere Rettung liegt denn auch in dem Umstand, daß der Eindruck auf unsere Augen nicht so sehr von der Anzahl der Helligkeitseinheiten abhängt wie von dem, was die Mathematiker den Logarithmus der Zahl nennen. Die Wirkung auf unser Auge entspricht nicht dem Verhältnis:

Sonne 12 300 000 000 000; Venus 13 000; Sirius 1080; schwächster Stern 1,

sondern dem folgenden:

Sonne 14; Venus 5; Sirius 4; schwächster Stern 1;

und hierin erscheint die Sonne nicht mehr so übermächtig. Obgleich die Stellung und Helligkeit der Planeten beständig wechselt, sieht der Himmel doch Nacht für Nacht im wesentlichen gleich aus, so daß seine Veränderungen uns nicht überraschen. Aber gelegentlich tauchen erschreckendere Erscheinungen an ihm auf als der geordnete Vorüberzug von Sonne, Mond, Planeten und Sternen. An erster Stelle unter diesen ungewohnteren Schauspielen stehen die Kometen und Sternschnuppen. Einem einfältigen Wilden müssen die Kometen wie wahnsinnig gewordene Sterne erscheinen, die durch den Himmel rasen und ihr Haar hinter sich flattern

lassen; in der Tat sprechen ältere Schriftsteller von allen Kometen unterschiedslos als von „dem haarigen Stern“, wie wenn es überhaupt nur einen Himmelskörper dieser Art gäbe. Sternschnuppen sehen nicht nur für den Wilden, sondern für jedermann wie Sterne aus, die ihren Halt am Himmel verloren haben und zur Erde fallen. Wir werden ihre physikalische Zusammensetzung später besprechen; im Augenblick beschäftigen uns nur ihre Erscheinung und ihre Bewegungen am Himmel.

Die Kometen umkreisen die Sonne gleich den Planeten, nur auf ganz andersartigen Bahnen. Ein Planet bewegt sich nahezu auf einem Kreis und bleibt daher immer ungefähr in dem gleichen Abstand von der Sonne, ein Komet dagegen beschreibt gewöhnlich eine sehr langgezogene Bahn, und dadurch ist seine eindrucksvolle Erscheinung auf die wenigen Wochen oder Monate beschränkt, während welcher er der Sonne am nächsten ist. In dieser Zeit bewirkt die Sonnenstrahlung, daß der Komet einen langen Schwanz auswirft, welcher ausnahmslos von der Sonne fortweist. Typische Beispiele von Kometen zeigen uns die Abbildungen 38 und 39.

Ehe man ihre wahre Natur verstand, wurden die Kometen als Unheilsboten betrachtet; und, wunderlich genug, die auffälligsten Erscheinungen von Kometen scheinen mit wichtigen historischen Ereignissen zusammengefallen oder ihnen nahe voraufgegangen zu sein. So erblicken bei Homer (Ilias 4, 75) die Griechen in der vom Olymp herunterfahrenden Athene, die

Hell erglänzt und im Flug unzählige Funken umhersprüht,

ein Zeichen für die Fortsetzung des Krieges.

Erst nachdem Newton die Bewegungen der Kometen erklärt und gezeigt hatte, daß sie denselben mechanischen Gesetzen gehorchen und durch dieselbe Schwerkraft gelenkt werden wie die Planeten, hörte man auf, sie in diesem unheimlichen Licht zu sehen.

Noch prächtigere Schauspiele als die Kometen können uns die Sternschnuppen bieten. Sie treten oft einzeln, aber oft auch in Schwärmen auf. In einer klaren Nacht können wir manchmal Dutzende, ja gelegentlich Milliarden wie ungeheure Glühwürmer durch den Himmel schießen sehen. Auf die alten Chinesen und Japaner müssen die Sternschnuppen großen Eindruck gemacht haben; in den sorgfältigen Aufzeichnungen, die sie darüber führten, werden sie verglichen mit fallendem Schnee oder schwerem Regen oder Blättern, die im Herbst von den Bäumen wirbeln. Wir geben eine Beschreibung eines Sternschnuppenfalls auf Korea vom Jahr 1519 unserer Zeitrechnung, welche Y. Iba vom Kobe-Observatorium aufgefunden hat:

„Einige schossen durch den Himmel wie verirrte Pfeile, andere bäumten sich auf gleich roten Drachen oder barsten wie Brandkugeln oder krümmten sich wie gespannte Bögen, während andere aussahen wie gegabelte Pfriemen und sich in viele wunderliche Gestalten und Erscheinungen verwandelten."

In Wirklichkeit kommt es diesen Erscheinungen auf keine Weise zu, daß man sie Sterne nennt. Sie sind

keine gewaltigen Körper, Millionen von Kilometern entfernt von uns im Raum, sondern winzige Stein- oder Metallstücke, von denen die meisten so klein sind, daß wir hunderte, ja tausende in einer Hand halten könnten. Und sie sind ganz nahe bei uns — in unserer eigenen Atmosphäre.

Winzige Kügelchen aus hartem Material fliegen beständig durch den Weltraum; Millionen von ihnen schlagen täglich in die Erdatmosphäre ein, die sie mit den hundertfachen Geschwindigkeiten einer Gewehrkugel durchschneiden. Wenn sie in die Atmosphäre eintreten, bewirkt die Reibung an der Luft, daß sie zuerst heiß, dann sehr heiß, dann rotglühend und schließlich weißglühend werden; in diesem Stadium sehen sie wie Sterne aus. Sie erhitzen sich so sehr, daß sie sich nach einem kurzen Leben von nur ein paar Sekunden Dauer zu Gas und Staub verflüchtigen und für das Auge verschwinden.

Es mag überraschend scheinen, daß ein so kleiner Gegenstand wie eine Sternschnuppe so hell aussehen kann wie ein richtiger Stern, etwa der Sirius oder der Arktur, aber wir dürfen zwei Dinge nicht vergessen. Erstens ist die Sternschnuppe viel näher; sie spielt sozusagen für ein viel kleineres Publikum, nur für ein paar Kilometer Erde statt für Millionen mal Millionen Kilometer im Raum. Zweitens leuchtet sie viel kürzere Zeit — nur einige Sekunden, während die richtigen Sterne wenigstens einige tausend Millionen Jahre leuchten.

Von derselben Art wie diese kleinen sind die größeren Himmelskörper, die wir als Meteore bezeichnen. Wenn sie durch die Luft sausen, erscheinen sie nicht

selten heller als alle Sterne und erleuchten die ganze Landschaft; wir nennen sie dann Feuerkugeln. Manchmal wird ihre äußere Oberfläche so heiß, daß sie zerreißen und bersten — wie ein kaltes Glas springt, wenn plötzlich heißes Wasser über seine Oberfläche gegossen wird —, und dieser Vorgang kann von einem furchtbaren, donnernden Krachen begleitet sein. Eine japanische Aufzeichnung vom Jahr 1533 zum Beispiel berichtet: „Sterne blitzten blendend am ganzen Himmel auf und schossen nieder auf Land und Meer, brachen in Stücke wie Steine und machten ein entsetzliches Getöse, so daß sich Furcht erhob, die Erde möchte vernichtet werden und das Reich untergehen, und alles Volk jammerte in Angst und Schrecken".

Ein solches Schauspiel wurde oft als Zeichen des Unwillens der Götter gedeutet und gab nicht selten Anlaß dazu, daß Könige und Völker ihren Lebenswandel änderten. Livius erzählt, daß im Jahre 650 v. Chr. ein großer Sternschnuppenfall neuntägige feierliche Zeremonien zur Folge hatte, durch welche man die erzürnten Götter zu versöhnen hoffte, und die japanischen Aufzeichnungen wissen von vielen Gelegenheiten, bei welchen das ganze Volk nach einem vermeintlichen Tadel durch einen Sternschnuppenfall in sich ging und sich besserte. In Kolumbus' Tagebuch lesen wir, daß seine Matrosen, nachdem sie schon tropische Vögel gesehen hatten und wissen mußten, daß sie dem langersehnten Lande nahe waren, „ein Meteor vom Himmel fallen sahen, was sie sehr traurig machte".

Die kleinen Sternschnuppen verdampfen ausnahmslos, bevor sie die Erde erreichen, aber die größeren

Meteore tun das im allgemeinen nicht; sie fallen zur Erde und werden dann als Meteorsteine bezeichnet. Die kleineren liegen in Wüsten oder Feldern herum, bis sie aufgefunden und in Museen oder zur Analyse in Laboratorien verbracht werden. Die meisten sind einfach Steine oder Massen kristallinen Gesteins; aber einige bestehen aus Eisen, manchmal vermischt mit Gesteinen oder mit Nickel und Kobalt. Die Abbildungen 44 und 45 auf Tafel XVIII stellen den größten bekannten Meteorstein und einen Haufen kleinerer Eisenmeteoriten dar.

Selbst größere Meteorsteine bohren sich gelegentlich in die Erde ein und reißen, wo sie niederfallen, große Löcher oder Krater. Tafel XIX gibt zwei Ansichten eines solchen Loches in Arizona; es ist der sogenannte „Meteorkrater", der von länglicher Gestalt ist, einen Umfang von etwa 4½ km und eine Tiefe von 170 m hat. Man vermutet, daß er zustande gekommen ist durch den Fall eines ungeheuren Meteors von rund 150 m Durchmesser und einem Gewicht von vielleicht 14 000 000 t, Tafel XX gibt zwei Ansichten von einer Gruppe ähnlicher, aber kleinerer Krater, den sogenannten Henbury-Kratern in Zentralaustralien; der größte von ihnen hat eine Ausdehnung von etwa 200 zu 110 m und ist ungefähr 15 m tief. Es ist so gut wie sicher, daß diese Krater durch den Fall von Meteoren gebildet worden sind, da man in ihnen allen Meteoreisen gefunden hat.

Diese Krater rühren von Meteoren her, die in prähistorischer Zeit auf die Erde gefallen sind, so daß wir nichts von den näheren Umständen ihres Falls wissen. Aber ein Meteor, der 1908 in Sibirien niederging, zeigte,

wieviel Unheil dabei angerichtet werden kann, wenn ein solcher Block sich in die Erde eingräbt und dann explodiert. In einem Umkreis von nahezu 50 km vom Zentrum waren die Bäume versengt und umgeworfen — Tausende von Quadratkilometern verwüstet durch den Fall eines einzigen Meteors. Es ist schwer, sich auch nur vorzustellen, wie das Land ringsum nach dem Fall der weit größeren Meteore in Arizona und Zentralaustralien ausgesehen haben muß.

IV. Kapitel

Der Mond

Wir wissen, daß der Mond immer ungefähr gleichgroß aussieht, und daraus können wir schließen, daß er immer ungefähr gleichweit von der Erde entfernt ist. Seine Entfernung können wir auf dieselbe Weise messen wie die einer unzugänglichen Bergspitze oder eines Flugzeugs.

Wenn ein Flugzeug hoch oben in der Luft steht, müssen Leute an verschiedenen Orten in verschiedene Richtung blicken, um es sehen zu können. Wenn es senkrecht über mir steht, wird es nicht senkrecht über jemand anders sein, der einen Kilometer von mir entfernt ist, und seine Höhe kann einfach daraus berechnet werden, wie weit seine Lage für den zweiten Mann von der Senkrechten abweicht. Unter Benutzung dieser Methode haben die Astronomen herausgefunden, daß die Entfernung des Mondes zwischen 354 339 und 404 336 km schwankt, während seine durchschnittliche Entfernung 382 181 km beträgt. Als eine runde Zahl mögen wir uns merken, daß der Abstand des Mondes von unserer Erde etwas mehr als eine Drittelmillion Kilometer mißt.

Bei solcher Entfernung können wir kaum erwarten, daß wir mit bloßem Auge viele Einzelheiten auf ihm

entdecken werden. In der Tat, wenn wir den Mond durch den Nachthimmel ziehen sehen, können wir auf seiner Scheibe nichts unterscheiden als eine Anzahl heller und dunkler Flecke, die wir mit ein wenig Einbildungskraft dann wohl als den Mann im Mond mit seinem Reisigbündel deuten mögen oder als eine alte Frau, die ein Buch liest oder — wie die Chinesen — als einen springenden Hasen. Natürlich hat kein vernünftiger Mensch je geglaubt, diese Wesen wohnten wirklich auf dem Mond, wohl aber dachte man in vergangenen Zeiten, der Mond sei ein ungeheurer Spiegel, in dem sich die Züge der Erde abbildeten, so daß die hellen und dunklen Flecken auf seiner Scheibe nur die Bilder unserer eigenen Länder und Meere wären; andere meinten, die dunklen Flecke seien irgendwelche Gegenstände, die zwischen uns und dem Mond im Raume hingen. Wir sahen bereits (S. 101), daß Anaxagoras, derselbe, der auch die Phasen und Verfinsterungen des Mondes erklärte, die Ansicht vertrat, daß „der Mond von erdartiger Natur ist und es Ebenen und Schluchten auf ihm gibt".

Sobald wir den Mond durch ein Teleskop oder auch nur mit einem Feldstecher betrachten, löst sich das Geheimnis seiner Struktur; der erste, der ihn so sah, war Galilei, als er im Jahr 1609 sein neu erfundenes Fernrohr auf ihn richtete. Er verkündete sofort, der Mond sei eine Welt wie unsere eigene und habe Meere und Berge. Man glaubte dann noch lange, die dunklen Flecke seien richtige Meere und benannte sie demgemäß. So heißen z. B. die drei größten „Meere" auf Tafel XXI in der Reihenfolge von links nach rechts:

Mare Imbrium — das Regenmeer,
Mare Serenitatis — Heiterer Ozean,
Mare Tranquilitatis — Stiller Ozean.

Doch wissen wir jetzt, daß dies keine Meere mit richtigem Wasser sein können, da wir sie nie im reflektierten Sonnenlicht glitzern sehen wie ferne Seen in einer irdischen Landschaft. Wenn der Mond sich im Raum bewegt und dreht, bescheint die Sonne sie von allen Seiten, aber wir haben noch nie ihren gespiegelten Widerschein auf ihnen erblickt; und jetzt nimmt man allgemein an, daß die sogenannten Meere in Wirklichkeit trockene Wüsten sind. Wir können begreifen, warum serenitas und tranquilitas als geeignete Namen für die Mondmeere erschienen — man erblickte dort niemals die geringste Veränderung. Das Regenmeer war eine weniger glückliche Wahl, eigentlich nur ein Purzelbaum der Phantasie; vielleicht fühlte man ein gewisses Abwechslungsbedürfnis in den frühen Zeiten der Astronomie.

Es gibt auf dem Mond nicht nur kein Wasser, sondern auch keine Luft oder Atmosphäre irgendeiner Art, außer in kaum merkbaren Beträgen. Das zeigt sich sehr deutlich, wenn der Mond die Sonne verfinstert, indem er vor ihr vorübergeht. Genau am Ende der Verfinsterung gibt es einen Augenblick, den letzten Moment der Dunkelheit, wenn die leuchtend helle Sonne gerade im Begriff ist, hinter dem dunklen Mond wieder aufzutauchen, sozusagen hinter den Mondbergen aufzugehen; besäße der Mond nun auch nur den Hauch einer Atmosphäre, so würde die Erscheinung der Sonne

sich durch Dämmerungstöne ankündigen, genau wie wenn sie hinter einem irdischen Gebirge emporsteigt. Aber der wirkliche Vorgang zeigt nichts derart, und die Sonne bricht auf einmal in voller Klarheit wieder herein.

Mittels eines großen modernen Fernrohrs können wir eine Menge Einzelheiten in der Mondlandschaft unterscheiden und sogar noch mehr photographieren. Denn ein solches Teleskop läßt sich ohne Umstände in eine mächtige Kamera verwandeln, die mit Hilfe eines Uhrwerks jedem Teil des Mondes und überhaupt jedem beliebigen Gegenstand am Himmel nachgedreht wird, so daß man eine photographische Platte beliebig lange exponieren kann, ohne Unschärfen befürchten zu müssen.

Tafel XXI gibt uns eine Aufnahme des fast vollen Mondes, die mit dem 60-cm-Fernrohr der Pariser Sternwarte gemacht ist. Wenn dies Bild ebenso groß aussehen soll wie der wirkliche Mond am Himmel, müssen wir es in einer Entfernung von 15 m von unserem Standort aufstellen. Beleuchten wir das Bild nunmehr, so werden wir den Mann im Mond, die alte Frau, den Hasen usw. in ihm erkennen können. Und nähern wir uns ihm dann, so werden wir alle diese imaginären Bewohner sich nach und nach auflösen und zu Ebenen und Bergzügen werden sehen.

Die vier Aufnahmen der Tafeln XXIII bis XXV sind mit einem noch größeren Fernrohr — dem mächtigen 100-inch-Teleskop auf dem Mount Wilson — gemacht und zeigen verschiedene Einzelheiten der Mondlandschaft. Wir wissen, daß die Dinge auf der Erde lange

Schatten werfen bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang und kürzere, wenn die Sonne hoch am Himmel steht. Dasselbe gilt natürlich auf dem Mond, und man kann die Höhe der Mondgebirge aus der Länge der Schatten schätzen, die sie zu verschiedenen Zeiten des Mondtages werfen. Obgleich der Durchmesser des Mondes nur den vierten Teil des Erddurchmessers beträgt, sind seine Berge im Durchschnitt ziemlich viel höher als die Erdgebirge, eine ganze Anzahl sind über 5000 m und viele davon weit steiler als unsere Berge.

Bis jetzt haben wir uns den Mond nur aus der Ferne angeschaut. Jetzt wollen wir eine Rakete chartern, die uns hinaufträgt, so daß wir wirklich auf seiner Oberfläche herumgehen können.

Unsere Rakete muß mit einer hohen Geschwindigkeit abgeschossen werden — mindestens 11,09 km in der Sekunde —, denn wenn sie mit einer kleineren Geschwindigkeit losfliegt, fällt sie einfach auf die Erde zurück wie eine gewöhnliche Flintenkugel. Wenn ihre Anfangsgeschwindigkeit genau 11,09 km in der Sekunde beträgt, wird sie sich gerade von der Erdanziehung freimachen können, aber nachher keine Geschwindigkeit mehr übrigbehalten, um uns auf unserer Reise weiterzubringen. Wir wollen also lieber mit einer Geschwindigkeit von 11,2 km in der Sekunde abfahren, dann behalten wir noch 1,6 km pro Sekunde übrig, nachdem wir die Erdanziehung überwunden haben, und damit kommen wir in etwas über zwei Tagen bis zum Mond.

In ein paar Sekunden haben wir die Erdatmosphäre durchflogen, die verhältnismäßig kaum dicker ist als

die dünne Haut einer Pflaume oder eines Pfirsichs. Dabei lassen wir allmählich all die Teilchen von Luft, Staub, Wasserdampf usw. hinter uns, die das Sonnenlicht zerstreuen und den Himmel blau erscheinen lassen. In dem Maße, in dem die Anzahl dieser Teilchen abnimmt, sehen wir den Himmel nacheinander die Farben annehmen, die wir früher beschrieben haben (S. 92) — Blau, Dunkelblau, Dunkelviolett und Schwarzgrau. Schließlich liegt die Erdatmosphäre ganz unter uns, und der Himmel sieht — abgesehen von Sonne, Mond und Sternen — pechschwarz aus. Die Gestirne erscheinen heller als von der Erde aus und auch blauer, da sie kein blaues Licht für das Himmelsblau haben hergeben müssen. Die Sterne funkeln auch nicht mehr wie in den irdischen Nächten, weil keine Atmosphäre mehr da ist, die den gleichmäßigen Lichtfluß stören könnte: sie durchbohren unsere Augen jetzt mit stahlscharfen Lichtnadeln. Wenn wir auf unsere Erde zurückschauen, wird fast die Hälfte ihrer Oberfläche für unseren Blick von Nebeln, Wolken und Regenschauern verhüllt sein. Aber vor uns leuchtet die ganze Mondscheibe in vollkommener Klarheit; er hat keine Atmosphäre, die das Sonnenlicht zerstreuen, und keine Regen und Nebel, welche die Helligkeit seiner Oberfläche verdunkeln könnten.

Diese Klarheit dauert fort, nachdem wir auf dem Mond angekommen sind, und übertrifft bei weitem alles, was wir je auf der Erde erlebt haben. Wir sahen, daß unsere Atmosphäre die Ursache der sanften Töne ist, die so viel zur Schönheit der irdischen Landschaft beitragen — der orangefarbenen und roten Tinten des Sonnenauf- und

-untergangs, des violetten und grünen Dämmerungslichtes, des blauen Himmels am hohen Mittag, des violetten Dunstes der Ferne. Hier auf dem Mond gibt es keine Atmosphäre, die das Sonnenlicht in seine verschiedenen Farben zerlegen und sie den Dingen zuteilen könnte — dem Himmel das Blau, der Dämmerung das Rot und so fort. Hier gibt es nur zwei Farben — Sonnenschein und Schatten, Weiß und Schwarz; alles, was in der Sonne liegt, ist weiß, alles andere ist schwarz. Wir kommen uns vor wie in einem Filmvorführungsraum, der von einem einzigen, ungeheuer starken Licht erleuchtet ist — der Sonne. Ein Tal bleibt in äußerstes Dunkel gehüllt bis zu dem Augenblick, in dem die Sonne hinter den umgebenden Bergen emporsteigt; dann wird es mit einem Schlag hell wie beim Andrehen des elektrischen Lichts.

Natürlich müssen wir, wenn wir aus der Rakete aussteigen und auf dem Mond herumgehen wollen, unsere eigene Luft mitnehmen; wir brauchen einen Sauerstoffapparat wie die Expedition auf den Mount Everest. Vielleicht werden wir fürchten, daß das Gewicht dieses Apparats das Gehen und Steigen sehr mühsam macht; aber sobald wir einen Fuß auf den Boden des Mondes gesetzt haben, merken wir, daß gerade das Gegenteil der Fall ist. Der Mond enthält weniger als den achtzigsten Teil der Erdsubstanz, und die Gravitationsanziehung, die er ausübt, ist nur etwa ein Sechstel so groß wie auf der Erde. Aus diesem Grund können wir ohne Anstrengung außerordentliche Lasten tragen und, da unser Körper fast gewichtlos zu sein scheint, erstaunliche Hochsprünge ausführen. Wir fühlen uns so sportlich, daß wir sogar Lust bekommen, unsere eigenen Spring-

rekorde zu brechen. Es würde uns in der Tat nicht schwer fallen; ein guter Turner sollte hier etwa 11 m hoch und mindestens 36 m weit springen können. Ist uns etwa nach einer Tennispartie zumute, so wird der Ball direkt aufschweben von unserem Schläger, und wir müssen, wenn nicht alle Schläge ausgehen sollen, den Platz ungefähr sechsmal größer machen, als wir auf der Erde gewöhnt sind. Leider macht das auch das Spiel sechsmal langsamer als auf der Erde, und ein sechsmal langsamer gespieltes Tennis wird am Ende kein großer Spaß mehr sein.

Wenn wir ein Gewehr abfeuern, wird das Geschoß eine kolossale Entfernung zurücklegen, ehe es zur Erde — nein zum Mond — zurückfällt. Wir können uns alle noch an die großen Kanonen erinnern, die im Weltkrieg auf Distanzen von über 120 km schossen; wenn man eine davon auf den Mond hinaufschaffte, würde ihr Geschoß geradeswegs auf Nimmerwiedersehen in den Raum hinausfliegen. Es wird uns nichts daran liegen, große Kanonen auf dem Mond in Stellung zu bringen, aber wir können dieselbe Wirkung auf viel einfachere Art erreichen — durch einen Lufthauch aus unserem Atmungsapparat.

Denn wir wissen, daß die gewöhnliche Luft aus winzigen Teilchen, den sogenannten Molekülen, besteht, die unaufhörlich durcheinanderwirbeln — einige ganz langsam, die meisten etwa mit der Geschwindigkeit einer Gewehrkugel und ein paar mit weit höheren Geschwindigkeiten, viel schneller als irgendein Geschoß, das je aus einem Geschütz abgefeuert worden ist.

Wir mußten unsere Rakete mit einer Geschwindigkeit von über 11 km in der Sekunde in Bewegung setzen, damit sie die Erdanziehung überwinden konnte; bei jeder niedrigeren Geschwindigkeit wäre sie einfach auf die Erde zurückgefallen wie ein Tennisball. Und genau dieselbe Geschwindigkeit braucht jedes Projektil, welcher Art auch immer, wenn es von der Erde loskommen soll. Nun geschieht es äußerst selten, daß Luftmoleküle eine Geschwindigkeit von 11 km pro Sekunde erlangen, so daß sie so gut wie niemals ganz von der Erde weg in den Raum hinausfliegen; das ist denn auch der Grund, warum die Erde ihre Atmosphäre festhält. Andererseits braucht ein Geschoß aber nur die Geschwindigkeit von 2½ km in der Sekunde, um sich endgültig vom Mond zu entfernen, und solche Geschwindigkeiten sind recht häufig bei gewöhnlichen Luftmolekülen. Hieraus sehen wir ohne weiteres, daß eine Luftatmosphäre auf dem Mond keine lange Lebensdauer haben kann, da jedes Molekül in dem Augenblick, in dem es die kritische Geschwindigkeit von 2½ km in der Sekunde erlangt, einfach in den Raum hinaussaust.

Und weil es keine Atmosphäre auf dem Mond gibt, kann es auch keine Meere, Flüsse oder überhaupt Wasser irgendwelcher Art geben. Wir sind daran gewöhnt, das Wasser als eine Flüssigkeit anzusehen, die erst kocht, wenn sie eine Temperatur von 100° angenommen hat, aber jeder, der einmal auf einem hohen Berg abgekocht hat, weiß, daß dies ein Irrtum ist; man entdeckt bald, daß dort das Wasser schon bei einer niedrigeren Temperatur kocht. Der Grund ist, daß auf dem Gipfel das Gewicht der Luft, durch welches die Flüssig-

keitsmoleküle niedergehalten und am Verdampfen und Fortfliegen gehindert werden, kleiner ist als unten in der Ebene. Wenn überhaupt kein Luftdruck vorhanden ist, verdunstet das Wasser auf jeden Fall, wie niedrig die Temperatur auch ist; und just das geschieht auf dem Mond. Es ist also klar, daß wir kein Wasser auf dem Mond finden können; wir müssen uns Trinkwasser mitbringen, und es wird nicht rätlich sein, es in die Gläser zu gießen und offen stehen zu lassen; sonst ist es verschwunden, wenn wir es trinken wollen — seine Moleküle sind eins nach dem andern in den Raum hinausgetanzt.

Da wir nun wissen, daß es auf dem Mond weder Luft noch Wasser gibt, werden wir nicht mehr erwarten, dort Menschen, Tiere, Bäume oder Blumen zu finden. Und in der Tat ist der Mond jahrhundertelang Nacht für Nacht und Jahr auf Jahr beobachtet worden, und niemand hat jemals die geringsten Spuren von Wäldern oder Vegetation oder Leben irgendeiner Art darauf gefunden. Keine Veränderungen lassen sich feststellen außer dem Wechsel von Licht und Dunkel, Wärme und Kälte, wenn die Sonne über den Wüsteneien auf- und untergeht. Der Mond ist eine tote Welt — nichts als ein ungeheurer Reflektor, schwebend im Raum aufgehängt wie ein Riesenspiegel, der die Sonnenstrahlen auf uns niederwirft.

Wir wollen jetzt aus unserer Rakete aussteigen und einen Blick auf die Mondlandschaft werfen. Ich kann hier keine Photographien von den Szenerien zeigen, die sich uns dort bieten, aber ich kann etwas anderes tun, was dem so nahe wie möglich kommt. Vor ungefähr

fünfzig Jahren hat ein Ingenieur, James Nasmyth, Berechnungen von der Höhe vieler Mondberge, hoher und niedriger, gemacht und ein Modell angefertigt, um die erlangten Resultate zu veranschaulichen. Abbildung 55 auf Tafel XXVI zeigt einen kleinen Teil des Modells, den man leicht wiedererkennen wird auf Tafel XXII. Abbildung 56 zeigt eine andere Gegend, die ebenfalls auf Tafel XXII auftritt. Der einzelne Berg rechts ist der Pico, von dem Nasmyth eine in Abbildung 57 wiedergegebene Zeichnung entworfen hat. Die Abbildungen 58 und 59 auf Tafel XXVIII sind Phantasiezeichnungen von anderen Typen von Mondlandschaften.

Es liegt nahe zu fragen, warum denn die Mondlandschaft so verschieden ist von der irdischen. Ist der Mond aus anderem Stoff gemacht als unsere Erde, oder ist er aus demselben Stoff gemacht, aber auf andere Art, oder läßt sich der ganze Unterschied auf einen Unterschied der physikalischen Bedingungen zurückführen?

Wie unsere irdischen Gebirge, Vulkane, Krater usw. zustande gekommen sind, haben wir schon besprochen. Die Erde begann ihr Leben, um es kurz zu wiederholen, als ein Ball aus sehr heißem Gas, der sich zusammenzog und abkühlte und dann verflüssigte, bis er schließlich einem mit Flüssigkeitstropfen und Gasblasen gefüllten Schwamm ähnlich sah. Der zog sich noch weiter zusammen, die Blasen wurden herausgepreßt und bildeten die Meere und die Atmosphäre. Es entstand eine feste Kruste, und als diese ebenfalls schrumpfte, faltete sie sich auf und bildete Gebirgszüge wie den Himalaja oder die Alpen, die ursprünglich fünf- oder

zehnmal höher gewesen sein mögen als heute, durch Regen, Schnee und Frost aber abgetragen und eingeebnet sind.

Aller Wahrscheinlichkeit nach waren auch die Mondberge zunächst Falten, die der abkühlende Mond warf. Aber die Gase und Wasserdämpfe, die aus dem Innern herausgepreßt wurden, konnten nicht am Mond hängen bleiben und ihn in Form von Meeren und einer Atmosphäre umschließen; ihre Moleküle flogen einfach in den Raum hinaus. So fehlten die Kräfte, welche die Umrisse unserer irdischen Gebirge ausgeglichen haben, auf dem Mond von Anfang an, und die Mondberge behielten ihre vollkommen scharfe, klare Silhouette.

Aber irgend etwas muß auf dem Mond geschehen sein, was den Bergen ihre harten Umrisse gegeben hat; sie sind zertrümmerte Felsen, und irgend etwas muß sie zertrümmert haben. In der Tat haben Beobachter gelegentlich eine Art Staubwolken gesehen, die von Steinschlägen herrühren könnten. Da es auf dem Mond aber weder Regen noch Eis gibt, wodurch der Stein gesprengt werden könnte, muß etwas anderes dort am Werk sein. Wenn wir jetzt einen Spaziergang auf dem Mond unternehmen, werden wir bald sehen, was.

Wir sprachen davon, daß feste Stein- und Metallstücke unaufhörlich vom Weltraum her in die Erdatmosphäre einschlagen. Die kleineren Stücke führen ein kurzes, aber sehr lebhaftes und glänzendes Leben als Sternschnuppen und gehen unschädlich in Rauch und Staub auf, ehe sie die Erdoberfläche erreichen; aber die größeren können, wie wir sahen, viel Unheil anrichten.

Ähnliche Geschosse müssen natürlich auch den Mond unaufhörlich bombardieren, aber dort stoßen sie auf keine Atmosphäre, die ihren Aufprall dämpfte und die meisten von ihnen zu Staub verwandelte, ehe sie Schaden stiften können. Große wie kleine Meteore schlagen wie ein Regen kleiner Gewehr- und großer Kanonenkugeln mit genau derselben Geschwindigkeit in die Mondoberfläche ein, mit der sie vorher den Weltraum durchmessen haben. Ich habe manche Geschichte über Reisen auf dem Mond gelesen, aber keiner ihrer Verfasser dachte daran, daß die kühnen Forscher dort dem ununterbrochenen Feuer dieser himmlischen Geschosse ausgesetzt wären — eine Erfahrung, die doch kaum allzu vergnüglich sein kann. Bei mäßiger Schätzung ergibt sich, daß die Mondoberfläche täglich von mehr als einer Million Sternschnuppen und Meteoren getroffen wird, deren Durchschnittsgeschwindigkeit ungefähr 50 km in der Sekunde beträgt, d. h. das 100-fache von der einer Gewehrkugel. Und solche Geschwindigkeiten machen sie lebensgefährlich, selbst wenn ihre Größe es nicht tut. Mit einer Geschwindigkeit von 50 km in der Sekunde hat ein winziges Materiekügelchen ebensoviel Energie — und also ebensoviel Zerstörungskraft — wie ein Auto, das mit 50 km die Stunde fährt, und ein halbpfündiger Meteor hat dieselbe Energie wie ein Expreßzug, der mit 110 km pro Stunde daherbraust; wenn ein solcher Meteor aber auf ein Haus fällt, bleibt nicht viel davon übrig. Wir können froh sein, daß wir auf der Erde dank unserer Atmosphäre vor derlei Überraschungen sicher sind. Jedenfalls sehen wir, daß dieser Meteorhagel eine durchaus zureichende Erklärung

für alle Staubwolken und Steinschläge liefert, die man auf dem Mond beobachtet hat.

Man hat sogar die Hypothese aufgestellt, daß der Einschlag von Meteoren die ringförmigen Gebilde hervorgebracht habe, die einen so auffallenden Zug der Mondlandschaft bilden. Das mag richtig sein für die kleineren Krater, aber nicht für alle. Denn wären sie alle auf diese Art entstanden, so würden wir erwarten, daß sie mehr oder weniger den Meteorkratern glichen, die wir von der Erde her kennen. Aber sie weichen in vielen Beziehungen davon ab. Die größten ringförmigen Gebilde auf dem Mond sind weit größer als alle irdischen Meteorkrater und auch von weit regelmäßigerer Gestalt. Meteorkrater können, da sie ja durch den Einschlag von Meteoren unter allen möglichen schiefen Winkeln entstanden sind, auch auf alle möglichen Arten in die Länge gezogen und sonstwie unregelmäßig geformt sein; die Mondkrater dagegen sind fast alle kreisförmig, und das weist eher darauf hin, daß sie durch eine im Mondinnern tätige Kraft und nicht durch eine von außen kommende Wirkung entstanden sind. Eine große Anzahl haben überdies Erhebungen im Innern, die aussehen wie die Eruptionskegel irdischer Krater, und das weist darauf hin, daß sie ebenfalls Erzeugnisse vulkanischer Tätigkeit sind — kurzum, sie scheinen die Krater erloschener Vulkane zu sein.

Dieses und andere Zeugnisse lassen es als wahrscheinlich erscheinen, daß die Oberfläche des Mondes im wesentlichen aus Vulkanen und ihren Auswürfen an Lava und vulkanischen Aschen besteht. Auf der Erde zersetzt die vereinte Wirkung von Luft, Regen und Frost

die vulkanischen Schlacken und verwandelt sie zu Fruchtboden, auf dem schließlich Pflanzenwuchs und Leben entsteht; aber auf dem Mond ist nichts vorhanden, was auf die Produkte der vulkanischen Ausbrüche einwirken und ihre Eigenschaften verändern könnte, so daß sie wohl für immer Lava und Asche bleiben werden.

Es ist möglich, diese Hypothese wissenschaftlich nachzuprüfen. Auf Abbildung 59 hat der Künstler uns eine Sonnenfinsternis dargestellt. Nehmen wir an, ein solches Ereignis begebe sich während unseres Besuches auf dem Mond. Was werden wir erleben?

Wir werden uns in erster Linie auf eine unerhörte Kälte gefaßt machen müssen. Wer eine Sonnenfinsternis auf der Erde miterlebt hat, weiß, daß es empfindlich kalt werden kann, wenn das Sonnenlicht plötzlich verschwindet; dabei hat die Erde in ihrer Atmosphäre und ihrem Boden noch Wärme aufgespeichert, die uns vor dem völligen Erfrieren rettet. Aber auf dem Mond ist keine Atmosphäre, welche Wärme aufspeichern könnte, und von dem Boden haben wir auch nicht viel zu erwarten, da vulkanische Asche ein außerordentlich schlechter Wärmeleiter ist, ungefähr ebenso schlecht wie der Asbest, den der Klempner um die Heißwasserröhren wickelt, damit sie keine Wärme abgeben. Selbst wenn das Mondinnere leidlich warm bleibt, werden wir nicht viel davon haben, da wir uns auf der falschen Seite eines dicken asbestartigen Schirms befinden. Demnach muß, wenn uns Sonnenlicht und -wärme plötzlich entzogen werden, die mehr als tropische Hitze der vollen Sonne einer Kälte Platz machen, welche alles auf der Erde Bekannte bei weitem übertrifft.

Und so ist es in der Tat. In einer Fabrik können wir gelegentlich sehen, daß ein Arbeiter ein Instrument, das sogenannte Pyrometer, auf einen Punkt eines Ofens oder eines Feuers richtet, um dessen Temperatur festzustellen. Auf dieselbe Weise richtet manchmal ein Astronom in einer Sternwarte ein mit einem Thermoelement versehenes Fernrohr auf einen Stern oder einen Punkt auf der Mondoberfläche, um die Temperatur dort festzustellen. Mit dieser Methode ist es möglich, die Temperaturänderungen auf der Mondoberfläche durch die verschiedenen Zustände einer Sonnenfinsternis hindurch zu verfolgen. Und der Wechsel ist ungeheuerlich, sowohl an Größe wie an Schnelligkeit. Wenn der Erdschatten über die Mondscheibe gleitet und eine bestimmte Stelle in Dunkelheit hüllt, kann man beobachten, daß die Temperatur in wenigen Minuten von etwa + 93° auf etwa — 100° fällt.

Bei einem solchen Temperatursturz wird man sogleich vermuten, daß nur wenig von der im Innern des Mondes aufgespeicherten Wärme an die Oberfläche gelangt, und das bedeutet natürlich, daß die Oberflächenschichten des Mondes schlechte Wärmeleiter sind. Sie haben, wie tatsächlich durchgeführte Rechnungen zeigen, gerade ungefähr dieselbe schwache Leitfähigkeit wie vulkanische Aschen.

Ähnlich heftige Temperaturschwankungen treten jedesmal beim Auf- und Untergang der Sonne ein, wenn auch nicht mit so schwindelnder Schnelligkeit. Die Temperatur mag 157° unter Null sein, wenn die Sonne aufgeht, und bis auf 93°, das heißt fast bis zur Temperatur kochenden Wassers steigen, wenn die Sonne im

Mittag steht. Während all dieser Schwankungen erhält sich, dank der Decke aus vulkanischer Asche, im Innern des Mondes eine ziemlich gleichmäßige Temperatur; wenn wir nur 2½ cm tief graben, stoßen wir schon auf eine unveränderliche Temperatur, die etwa bei der schmelzenden Eises liegt.

Es gibt noch andere Methoden, um festzustellen, woraus der Mond gemacht ist. Nach seinem Aussehen haben die Leute auf alle möglichen Stoffe geraten: Eis, Schnee, Fels, Silber und sogar grünen Käse. Vom bloßen Anschauen können wir niemals sagen, woraus ein Ding besteht; viele Stoffe sehen gleich aus, die ihrer Struktur nach sehr verschieden sind, wie zum Beispiel Brillanten und Straß oder echte und falsche Perlen. Darum tun wir besser, wenn wir uns unseren Gegenstand nacheinander in verschiedenfarbigem Licht betrachten, denn Stoffe, die in einem Licht gleich aussehen, sehen in einem anderen nicht selten verschieden aus.

Dazu gibt uns nun das Spektroskop die Möglichkeit an die Hand; es trennt die verschiedenen Farben des Lichts voneinander, so daß wir sie einzeln sehen können. Dann erzählt sozusagen jede Farbe des Lichts ihre eigene Geschichte — allein und ungestört von den andern. Wie bei einer Gerichtsverhandlung der Richter darauf besteht, die Zeugen einzeln zu vernehmen; der Polizist beschreibt den Unfall und teilt mit, wie er den Mann festgenommen hat, der wegen unvernünftigen Fahrens angeklagt ist, die Augenzeugen berichten, was sie gesehen haben, der Besitzer des Autos legt seinen Standpunkt dar usw.; wenn sie aber alle gleichzeitig schrien, wäre es schwer, die Wahrheit festzu-

stellen. Ebenso hat jede einzelne Lichtfarbe, die von den Objekten draußen im Raum zu uns gelangt, ihre eigene Geschichte zu erzählen über die Natur der Dinge, die sie ausgesandt haben, und das Spektroskop macht es uns möglich, die verschiedenen Geschichten eine nach der anderen anzuhören.

Es mag sein, daß zwei verschiedene Stoffe im Licht von einigen Spektralfarben gleich erscheinen, aber in irgendeiner werden sie ihre Verschiedenheit bestimmt kundtun, so daß wir, wenn sich zwei Substanzen allen Farben gegenüber gleich verhalten und durch die ganze Breite des Spektrums hindurch die gleichen Eigenschaften zeigen, vernünftigerweise schließen können, daß sie identisch sind.

Auf Tafel XVI sahen wir bereits zwei Aufnahmen einer Landschaft, die eine mit infrarotem, die andere mit gewöhnlichem Licht. Man bemerkt auf den ersten Blick, daß dabei verschiedene Arten von Dingen sehr verschiedene Bilder ergeben, und das zeigt, daß sie aus verschiedenen Substanzen bestehen. Wenn der Mond aber auf diese Weise photographiert wird, stellt sich heraus, daß alle seine verschiedenen Teile sich übereinstimmend verhalten, und zwar nicht nur gegenüber diesen beiden Lichtarten, sondern ebenso auch gegenüber allen anderen. Daraus schließen wir, daß alle Teile der Mondoberfläche durchweg aus demselben Stoff bestehen. Mehr noch, wenn wir im Laboratorium einen Stoff finden können, der auch seinerseits allen Farben des Lichtes gegenüber das gleiche Verhalten zeigt, so werden wir vermuten, daß er von derselben Beschaffenheit ist wie die Oberfläche des Mondes.

Der Physiker verfügt über eine weitere Untersuchungsmethode, die noch zu bestimmteren Ergebnissen führt. Das Licht kann nicht nur in Wellen verschiedener Länge (d. h. verschiedener Farben) aufgespalten werden, sondern auch in Wellen, die in verschiedenen Richtungen schwingen. Wenn wir mit einem Bogen über eine Violinsaite streichen, schwingt sie mehr oder weniger in der Richtung, in welcher sie von dem Bogen gezogen wird, und die ist parallel zu dem Geigenkörper. Aber wenn wir die Saite zupfen, so schwingt sie in der Richtung, in welcher wir sie zupfen, und diese mag zu der früheren senkrecht sein. Die Saite gibt denselben Ton wie vorher, aber ihre Schwingung erfolgt in einer anderen Richtung.

Wenn nun Licht von irgendeiner Substanz reflektiert wird, so wird die Richtung seiner Schwingung im Raum herumgedreht, und der Betrag, mit welchem das geschieht, hängt weitgehend von der Natur der Substanz ab. So können wir bis zu einem gewissen Grade Substanzen daran erkennen, in welchem Maße sie die Schwingungsebene des Lichtes herumdrehen. Ehe wir daher zu einem endgültigen Schluß über die materielle Beschaffenheit des Mondes kommen, ist es wichtig, nachzuprüfen, ob die fragliche Substanz die Schwingungsebene in der richtigen Weise herumdreht. Die Probe ist zwingend, denn wir können sie nicht nur für jede einzelne Lichtfarbe anstellen, sondern auch für jede Farbe, die unter jedem möglichen Winkel reflektiert ist.

Nun wohl, vulkanischer Staub oder Asche besteht die Probe siegreich und stimmt in jeder Hinsicht mit

dem Verhalten der Mondoberfläche überein, abgesehen von einem kleinen Fleck nahe am Krater Aristarchus. Dieser sieht schwarz aus in ultraviolettem Licht, während er in gewöhnlichem Licht kaum sichtbar ist. Man kann jedoch auch hierfür leicht ein Analogon finden in Form von vulkanischem Gestein, das mit einer dünnen Schwefelschicht überzogen ist — und das Vorkommen von Schwefel ist nichts Ungewöhnliches in den Auswürfen irdischer Vulkane.

So scheint es, wenn man alle Zeugnisse zusammennimmt, sehr wahrscheinlich, daß die Mondoberfläche aus vulkanischer Asche besteht; sie sieht aus wie vulkanische Asche und nicht nur im Licht einer, sondern im Licht aller Farben; sie dreht die Schwingungsebene des Lichtes auf dieselbe Weise wie vulkanische Asche nicht nur für eine Farbe, sondern für alle; sie verhält sich wie vulkanische Asche in bezug auf ihre sehr niedrige Wärmeleitungsfähigkeit; und sie liegt, schließlich und endlich, am Fuß von Bergen, die so gut wie sicher Vulkane sind.

V. Kapitel

Die Planeten

Neun Planeten umkreisen die Sonne, deren einer die Erde ist. Von den anderen acht waren fünf schon seit den frühesten Zeiten bekannt, während drei — die drei am weitesten von der Sonne entfernten — verhältnismäßig neue Entdeckungen sind.

Die Modellreihe auf Abbildung 60 zeigt, wie sehr die neun Planeten an Gestalt voneinander verschieden sind. Am kleinsten sind die sonnennächsten und sonnenfernsten; Jupiter und Saturn, die beiden mittleren, sind die größten; und der größte von allen ist der Jupiter mit einem Durchmesser von nahezu 144 000 km und dem 1300fachen Volumen der Erde. Er verhält sich zur Erde wie ein Fußball zu einer Marmel, während Mars in demselben Maßstab nicht viel größer als eine Erbse wäre.

Wenn wir unser Modell vervollständigen möchten, indem wir die auf Abbildung 60 dargestellten Himmelskörper in die richtige Entfernung voneinander setzen, so müßte Merkur, der sonnennächste Planet, eine nicht ganz kreisförmige Bahn beschreiben, derart, daß er bei seiner größten Annäherung an die Sonne noch 6 m von ihr entfernt wäre. Die Erde müßte sich in einem Abstand von 15 m von der Sonne halten, während

Pluto, der fernste Planet, eine Bahn mit einem Radius von nahezu 8 km zu beschreiben hätte.

Das Sonnensystem scheint also hauptsächlich aus leerem Raum zu bestehen, und doch ist seine Leerheit noch nichts, verglichen mit der des ganzen Weltraums. Denn wenn wir unser Modell im gleichen Maßstab fortsetzen wollen, müssen wir den nächsten Fixstern ungefähr 4800 km weiter weg anbringen. Wir sehen, der Raum ist wirklich recht leer.

Die neun Planeten bewegen sich alle in derselben Richtung und, wie wir schon erwähnten, nahezu in derselben Ebene um die Sonne, so daß sie eine Art regelmäßigen Einbahnverkehrs bilden. Außer Merkur, Venus und Pluto, den Planeten, die der Sonne am nächsten und am fernsten sind, haben sie alle einen oder mehrere Monde; die beiden Riesenplaneten in der Mitte, der Jupiter und der Saturn, sind besonders bevorzugt; sie haben jeder mindestens neun Begleiter und wahrscheinlich noch mehr, denn Dr. Jeffers von der Lick-Sternwarte hat kürzlich einen winzigen Körper entdeckt, der sich mit dem Jupiter bewegt und für einen ganz kleinen Jupitersatelliten von nur ein paar Kilometer Durchmesser gehalten wird.

Abgesehen von unwichtigen Ausnahmen umkreisen diese Trabanten ihre Planeten in derselben Richtung und nahezu in derselben Ebene, in welcher die Planeten selbst sich um die Sonne bewegen. Außer den Planeten und ihren Begleitern gibt es noch Tausende von Himmelskörpern, die kleinen Planeten oder Asteroiden, die sich auch in der gleichen Richtung um die Sonne bewegen; im Jahr 1933 waren 1264 solcher Asteroiden

bekannt. Und ferner kennen wir eine große Anzahl von Kometen, welche die Sonne ebenfalls in dieser Richtung umkreisen. So ist die Verkehrsrichtung im ganzen Sonnensystem die gleiche. Auf welche Weise ist diese Richtung festgelegt worden, und wie wird der Verkehr reguliert und in Gang gehalten?

Wenn die Planeten sich selbst überlassen wären, würden sie sich stetig in gerader Linie fortbewegen und bald in der Unendlichkeit des Raumes verschwunden sein. Wir selbst auf unserer Erde würden mit 30½ km in der Sekunde in die tödliche Kälte des Weltraums hinausfliegen. Aber das Geschichtsbuch, in dem wir im ersten Kapitel geblättert haben, berichtete uns, daß die Entfernung der Erde von der Sonne seit vielen Millionen Jahren unverändert geblieben ist. Daraus müssen wir wohl schließen, daß irgend etwas die Erde festhält und daran hindert, in den Raum hinauszufliegen, ebenso wie wir schließen, daß ein Pferd, welches wir auf einem Feld dauernd im Kreis um einen Reitknecht herumtraben sehen, von irgend etwas festgehalten wird. Dies „Etwas“ ist natürlich die Sonne, und sie hält die Erde fest durch eine Kraft, die wir die Gravitationsanziehung nennen. Wir alle kennen die Geschichte, wie Isaak Newton einen Apfel zu Boden fallen sah und bei sich dachte, daß die Erde, wenn sie Gegenstände nahe ihrer Oberfläche, wie zum Beispiel Äpfel, anzieht, auch Körper anziehen muß, die sich weit draußen im Raum befinden, wie zum Beispiel der Mond. Er erwartete nicht, daß die Erde entfernte Objekte ebenso kräftig anzöge wie nahe, sondern vermutete, daß die Anziehung schwächer werden würde

im umgekehrten Verhältnis zu dem Quadrat der Entfernung, d. h. nach dem Gesetz, nach welchem auch die scheinbare Helligkeit eines Gegenstandes und noch viele andere in der Natur beobachtbare Eigenschaften abnehmen.

Wenn das richtig war, mußte es möglich sein, die Anziehung der Erde auf den Mond zu berechnen. Der Mond ist 60mal weiter vom Mittelpunkt der Erde entfernt als wir, so daß die Erdanziehung hier 3600mal stärker sein sollte als draußen beim Mond. Hier bewirkt sie, daß die Dinge in einer Sekunde 4,8 m gegen die Erde zu fallen. Dort würde sie — wenn Newton recht hat — bewirken, daß die Dinge, einschließlich des Mondes selbst, in einer Sekunde nur den 3600sten Teil hiervon, d. h. $^1/_8$ cm, gegen die Erde zu fielen. So wenig dies ist, es ist gerade genug, um den Mond auf seiner Bahn zu halten und dafür zu sorgen, daß er nicht in den Raum hinausfliegt. Wenn der Mond sich auch mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 3600 km in der Stunde bewegt — der 40fachen Geschwindigkeit eines Schnellzugs —, so sorgt doch dieser unaufhörlich, Sekunde auf Sekunde, wiederholte kleine Fall gegen die Erde dafür, daß er heute nicht weiter von uns entfernt ist als vor hunderttausend Jahren.

Und ebenso wie die Erdanziehung den Mond auf einer nahezu kreisförmigen Bahn um die Erde herumführt, so läßt die Sonnenanziehung die Erde und die anderen Planeten in kreisförmigen oder nahezu kreisförmigen Bahnen um die Sonne kreisen. Wir könnten die einzelnen Planeten mit einem Gewicht vergleichen, das wir am Ende einer Schnur um unsere Hand herumwirbeln.

Unsere Hand ist die Sonne und der Zug in der Schnur die Gravitationskraft der Sonne. Je schneller wir ein Gewicht herumschwingen, um so größer wird der Zug in der Schnur, an der wir es halten. Die Beobachtung zeigt, daß die nächsten Planeten weit rascher um die Sonne geschwungen werden als die fernen, so daß die Sonnenanziehung auf die inneren Planeten viel stärker sein muß als auf die äußeren. Das stimmt überein mit dem Newtonschen Gesetz, wonach die Größe der Gravitationskraft abnimmt mit dem umgekehrten Quadrat der Entfernung. Dies Gesetz ist es, das die Geschwindigkeiten und Entfernungen der Planetenbewegungen regelt; sie sind so eingerichtet, daß die Gravitationskraft, die auf jeden Planeten wirkt, genau die Größe hat, die nötig ist, um den Planeten auf seiner Bahn um die Sonne festzuhalten.

Natürlich vollendet der Merkur seinen Umlauf um die Sonne in viel kürzerer Zeit als Pluto; er umkreist die Sonne einmal in etwa 3 Monaten und erscheint uns daher etwa 8mal jedes Jahr abwechselnd als Morgenstern und Abendstern, während Pluto, der 1000mal länger — nämlich 250 Jahre — zu seiner Reise braucht, viele Jahre hintereinander in der gleichen Gegend des Himmels steht. Die Umlaufzeiten der anderen Planeten liegen zwischen diesen beiden Extremen — Venus braucht etwas über 7 Monate, die Erde, wie wir wissen, 1 Jahr, Mars weniger als 2 Jahre, Jupiter nahezu 12 Jahre, Saturn 29½ Jahre usw.

Die Sonne strömt nach allen Seiten Wärme und Licht aus wie ein Feuer; und die Planeten sind wie Schildwachen, die in immer weiter werdenden Kreisen das

Feuer umwandeln. Dem nächsten Mann mag es dabei unbehaglich warm sein, während der fernste gehörig friert, es sei denn, daß er einen eigenen Wärmevorrat hat, der ihn warm hält, unabhängig von der Wärme, die er von dem Feuer empfängt.

Wenn ein Planet keinen Wärmevorrat in seinem Inneren aufgespeichert hat, wird er genau soviel Wärme in den Raum ausstrahlen, wie er von der Sonne empfängt. Dieser Betrag ist leicht zu berechnen, aber die Wärmestrahlung eines Planeten hängt auch ab von der Temperatur seiner Oberfläche — je heißer die Oberfläche ist, um so größer ist die ausgestrahlte Wärme. Ein Planet, welcher keinen inneren Wärmevorrat hat, wird die Temperatur annehmen, bei der ein genaues Gleichgewicht besteht zwischen der Strahlung, die er empfängt, und der Strahlung, die er ausgibt. Wenn er sich sehr rasch um seine Achse drehte, würde seine ganze Oberfläche sich gleichmäßig auf dieser Temperatur erhalten — genau wie eine Hammelkeule, die gleichmäßig über einem Feuer gedreht wird. In Wahrheit rotieren die Planeten aber ziemlich langsam um ihre Achse, und die Seite eines Planeten, die lange der Sonne zugekehrt war, muß offenbar ein gut Teil heißer sein als die entgegengesetzte, die indessen im Schatten lag. Die Folge ist, daß die Nachttemperaturen der Planeten im allgemeinen beträchtlich unter den Tagestemperaturen liegen und die Temperaturen an einem bestimmten Punkt einer Planetenoberfläche nicht konstant sind, sondern beständig um ein Mittel herum schwanken. Der Wärmebetrag, den die Erde von der Sonne empfängt, ist leicht zu berechnen, und wenn sie diesen Betrag wieder in den Raum ausstrahlen sollte, müßte die Erde eine Durchschnittstemperatur von 4,5° haben, also nicht viel über dem Gefrierpunkt des Wassers — wenigstens würde das zutreffen, wenn die Erde eine feste schwarze Kugel ohne jede Atmosphäre wäre. Es müssen noch kleine Berichtigungen angebracht werden wegen der Erdatmosphäre und der Beschaffenheit ihrer Oberfläche; wenn das alles berücksichtigt ist, finden wir, daß die errechnete Temperatur der Erde etwas unter der tatsächlich beobachteten mittleren Temperatur liegt, die ungefähr 14° beträgt. Das zeigt, daß die Erde nicht alle ihre Wärme von der Sonne bezieht, sondern einen kleinen inneren Wärmevorrat haben muß — wahrscheinlich in Gestalt der radioaktiven Substanzen in ihrer Kruste, deren Bekanntschaft wir in unserem ersten Kapitel gemacht haben.

Auf dieselbe Weise können wir die Temperaturen berechnen, welche die anderen Planeten annähmen, wenn sie ausschließlich durch die Sonnenstrahlen erwärmt würden; sie bewegen sich von 173° für den Merkur bis zu —229° für den Pluto. Im ganzen kommen die so errechneten Temperaturen den tatsächlich mit einem Thermoelement gemessenen ziemlich nahe, woraus wir schließen können, daß auch die anderen Planeten, ebenso wie die Erde, nur eine geringe eigene innere Wärme besitzen und ihre Wärme fast völlig von der Strahlung der Sonne beziehen.

Die Temperatur des Merkur, des sonnennächsten Planeten, ist von besonderem Interesse. Aus der Rechnung folgt, daß der Merkur, wenn er sich rasch drehte, an seiner Oberfläche eine gleichmäßige Temperatur von

173° haben müßte. Je langsamer er sich drehte, mit um so stärkeren Ausschlägen würde seine Temperatur natürlich um ein Mittel schwanken. Im extremen Fall, wenn er der Sonne immer dieselbe Seite zukehrte — wie der Mond der Erde —, würde diese Seite beständig weit über 173° und die andere beständig weit darunter sein; nach der Rechnung würde ein Punkt im Zentrum der heißen Seite, der sich also für immer direkt unter der Sonne befände, eine Temperatur von rund 357° haben. Nun ist dies in der Tat ziemlich genau die beobachtete Temperatur eines Punktes direkt unter der Sonne, und das beweist, daß der Planet der Sonne immer dieselbe Seite zuwendet — mit anderen Worten, der Merkur hat eine Seite, auf der es immer Tag, und eine, auf der es immer Nacht ist. Die Tagseite mit ihrer dauernden Temperatur von 357° ist viel zu heiß, als daß Wasser in flüssiger Form auf ihr existieren könnte, und auch viel zu heiß, als daß sie irgendeine Atmosphäre festzuhalten vermöchte. Denn der Merkur enthält nur etwa den fünfundzwanzigsten Teil der Erdmasse, und seine Schwerkraft ist so viel kleiner als die der Erde, daß ein Molekül oder irgendein Geschoß geradeswegs in den Raum hinausfliegt, sobald es eine Geschwindigkeit von etwa 3,6 km in der Sekunde erreicht hat. In der glühenden Hitze der heißen Seite müssen die Moleküle aber häufig solche Geschwindigkeiten erlangen, so daß die Atmosphäre des Merkur, wenn sie jemals existierte, längst in den Raum hinausgeflogen ist. Eine unmittelbar anschauliche Bestätigung hierfür erhalten wir, wenn der Merkur vor der Sonne vorbeigeht. Er erscheint dann als eine vollkommen scharfe schwarze

Scheibe, und das zeigt, ebenso wie beim Mond, daß der Merkur entweder überhaupt keine Atmosphäre besitzt oder eine so dünne, daß sich die Sonnenstrahlen darin nicht merkbar brechen.

Gewöhnlich steht der Merkur der Sonne so nahe, daß er völlig in ihrem Glanz verschwindet, und selbst unter den günstigsten Bedingungen ist es außerordentlich schwierig, irgend etwas auf seiner Oberfläche zu sehen. Doch lassen sich gewisse gleichbleibende Zeichnungen auf ihm erkennen, ähnlich denen, die wir, allerdings unvergleichlich viel klarer, auf der Mondscheibe unterscheiden. Eine nähere Untersuchung des vom Merkur reflektierten Lichtes legt die Vermutung nahe, daß seine Oberfläche der des Mondes ähnlich ist, nämlich eine grobe Masse aus vulkanischer Asche und Staub.

Nach dem Merkur ist die Venus der nächste Planet zur Sonne; sie hat das besondere Interesse, daß sie von allen Planeten unserer Erde am meisten gleicht. In vielen Beziehungen ist sie eine Art Zwillingsschwester der Erde. Sie hat fast denselben Radius — 6200 km gegen die 6350 der Erde —, aber ihre Masse ist weniger fest gepackt, die durchschnittliche Dichte, die auf der Erde das 5,52fache des Wassers beträgt, ist hier nur 4,86 mal größer als bei Wasser. Infolgedessen ist die Gesamtmasse der Venus um 19 vH kleiner als die der Erde und daher auch die Gravitationsanziehung an ihrer Oberfläche. Ein Molekül oder anderes Wurfgeschoß verläßt die Venusoberfläche und fliegt in den Raum hinaus, sobald es eine Geschwindigkeit von 10 km pro Sekunde erreicht hat, während dazu auf der Erde 11,08 km in der Sekunde erforderlich sind.

So weit sind die beiden Planeten einander zweifellos sehr ähnlich; die Unterschiede, die zwischen ihnen bestehen, rühren hauptsächlich daher, daß die Venus der Sonne so viel näher ist als die Erde. Aus den Rechnungen ergibt sich, daß die mittlere Temperatur der Venus ungefähr 50° höher sein sollte als die der Erde. Selbst unter dieser Bedingung müßte jedoch Wasser noch in flüssiger Form vorkommen können und der Planet imstande sein, eine Atmosphäre festzuhalten, so daß wir erwarten könnten, Meere und Flüsse, eine Atmosphäre und Wolken, Stürme und Regen auf der Venus zu finden wie auf der Erde.

In bezug auf die Atmosphäre und die Wolken werden unsere Erwartungen denn auch vollkommen erfüllt. Bei den äußerst seltenen Gelegenheiten, wenn die Venus vor der Sonne vorbeigeht, sieht sie ganz anders aus als der Merkur und der Mond, die sehr wenig oder gar keine Atmosphäre haben. In dem Augenblick, wenn sie in die helle Sonnenscheibe eintritt und wenn sie sie verläßt, erscheint die Venus uns nicht als eine scharf bestimmte und klar umrissene Scheibe, sondern ist von perlfarbenem Licht gesäumt, das von der Brechung der Sonnenstrahlen beim Durchgang durch die Atmosphäre des Planeten herrührt. Eine allgemeine Untersuchung zeigt, daß die Venus vollkommen in Wolken eingehüllt ist, und diese Wolken sind so dick und beständig, daß es unmöglich ist, durch sie hindurchzusehen, selbst wenn wir uns der wolkendurchdringenden Kraft des infraroten Lichtes bedienen.

Abbildung 61 zeigt Bilder der Venus, die einmal mit infrarotem und einmal mit ultraviolettem Licht aufgenommen sind, und es ist sofort klar, daß kein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden besteht. Auf der ultravioletten Aufnahme lassen sich ein paar dunkle Flecke unterscheiden, aber sie sind nicht beständig und stellen wahrscheinlich nur besonders dunkle Wolken- oder Nebelstreifen dar. Wenn sie Züge der festen Oberfläche des Planeten wären, würden sie noch deutlicher auf dem infraroten Bild zu erkennen sein. So müssen wir leider alle Hoffnung aufgeben, daß es uns je gelingen wird, irgend etwas von der festen Oberfläche hinter den Wolken zu erspähen.

Es ist nicht schwer zu verstehen, warum die Venus auf diese Weise in Wolken und Nebel gehüllt ist, denn ihre höhere Temperatur muß offenbar dahin wirken, daß mehr Wasser in dampfförmigem Zustand verharrt als auf der Erde. Aber seien die Gründe wie immer, die Wolken sind da und verunmöglichen alle Untersuchungen der unteren Schichten der Planetenatmosphäre; wir können sozusagen nur die Stratosphäre der Venus studieren, die Region über den Wolken und Nebeln.

Wir suchten uns ein Bild von der Zusammensetzung der Stratosphäre der Erde zu machen, indem wir das Sonnenlicht untersuchten, das sich durch sie fortgepflanzt hatte. Wir fanden, daß es einige der Wellenlängen eingebüßt hatte, aus denen es besteht, und schlossen daraus auf das Vorhandensein von Ozon in der Stratosphäre.

Einer ähnlichen Methode können wir uns nun für die Venus bedienen. Wir sehen ihre Wolken in einem Licht, das auf seiner Reise von der Sonne bis in unser Auge die Stratosphäre der Venus zweimal gekreuzt hat

— einmal auf seinem Weg hinunter zu den Wolken und ein zweites Mal bei seiner Rückkehr, nachdem es von den Wolken reflektiert ist. Und auch in diesem Licht sind gewisse Wellenlängen ausgefallen, die in dem direkt von der Sonne in unser Auge kommenden Licht enthalten sind. Da der Verlust nur in der Stratosphäre der Venus vor sich gegangen sein kann, läßt sich hieraus die Zusammensetzung dieser Stratosphäre erschließen.

Es zeigt sich sofort, daß sie verschieden ist von der Zusammensetzung der irdischen Stratosphäre. Sie enthält so gut wie keine Spuren von Wasserdampf, aber das ist kaum überraschend, da auch in der Stratosphäre der Erde nicht viel vorkommt. Einen ausgesprocheneren Unterschied stellt die Tatsache dar, daß die Venus so gut wie keine nachweisbaren Mengen von Sauerstoff in ihrer Stratosphäre aufzuweisen hat. Um die Wichtigkeit dieses Umstandes ganz zu ermessen, müssen wir uns daran erinnern, daß die meisten chemischen Stoffe eine starke Neigung zeigen, sich mit Sauerstoff zu verbinden, wie wir täglich an den vertrauten Vorgängen des Rostens und Verbrennens sehen. Dieser Hunger nach Sauerstoff ist sogar so stark, daß es uns beinahe überraschen sollte, überhaupt noch Sauerstoff in der Erdatmosphäre zu finden. Wenn das dennoch der Fall ist, so ist es wahrscheinlich dem Umstand zu danken, daß der Sauerstoff auf der Erde beständig erneuert wird durch den Pflanzenwuchs, mit dem die Erdoberfläche so üppig bedeckt ist. Dieser wirkt wie eine große Sauerstoffabrik, und wenn es auf der Venus keinen Sauerstoff gibt, so heißt das höchstwahrscheinlich, daß die Venus keine Vegetation besitzt, die sie damit versorgen könnte.

Wenn wir uns ein Bild von den physikalischen Bedingungen auf der Venusoberfläche machen wollen, müssen wir von denen, die wir soeben auf dem Mond und dem Merkur hinter uns gelassen haben, einen langen Schritt in Richtung auf die Zustände tun, die gegenwärtig auf unserer eigenen Erde herrschen. Auf dem Mond und dem Merkur boten sich dürre Felswüsten dem Auge dar, die glühen, wenn die Sonne am Himmel steht, und gefrieren, sobald sie untergeht, und die kein Wind noch Regen je in ihrer Ruhe gestört hat. Felswüsten mag es auch auf der Venus geben, aber sie können nicht dürr sein, und irgendwelche Veränderungen müssen bestimmt auf ihr vor sich gehen. Wenn die Venus sich ebenso rasch um ihre Achse drehte wie unsere Erde, würden wir mit Sicherheit vertraute heimische Phänomene auf ihr wiederfinden, wie Passatwinde, Regen- und Trockenzeiten usw. Wir sahen jedoch bereits, daß der Merkur der Sonne immer dieselbe Seite zuwendet, und die Venus tut höchstwahrscheinlich dasselbe oder wechselt die Seiten doch mit äußerster Langsamkeit. Mit anderen Worten, es ist möglich, daß sie eine Tag- und eine Nachtseite hat wie der Merkur oder daß sie zwar Tage und Nächte hat wie wir auf der Erde, aber von sehr langer Dauer. In beiden Fällen wird es wenig Wind oder Regen geben, nur eine gleichmäßige feuchte Hitze.

Wir werden nicht fehlgehen, wenn wir uns vorstellen, daß die Oberfläche der Venus ähnlich aussieht wie die der Erde in jenen grauen Zeiten, ehe das

Phänomen des Lebens sich auf ihr gezeigt und das Aussehen ihrer Oberfläche und die Zusammensetzung ihrer Atmosphäre verändert hatte. Wenn wir in der Zeit rückwärts wandern, müssen wir zu einer Epoche kommen, in welcher die Erde wesentlich heißer war als heute, sei es, weil sie noch merkliche Vorräte an innerer Wärme besaß, sei es, weil die Sonne selbst noch heißer war und dadurch für eine reichlichere Strahlung sorgen konnte. Es mag sein, daß die Venus in ihrer heutigen Gestalt uns ein Bild davon gibt, wie die Erde damals aussah, und daß die Venus der Zukunft bestimmt ist, in einem gewissen Ausmaß die Geschichte unseres eigenen Planeten zu wiederholen. Selbst wenn die Venus jetzt noch keinen Pflanzenwuchs besitzt, mag er zu seiner Zeit doch auftreten und dann, indem er die Atmosphäre mit Sauerstoff versieht, den Weg zu höheren und höheren Lebensformen bereiten. Aber wir wissen so wenig von Art und Sinn des Lebens, daß alle Gedanken dieser Art bestenfalls kühne Spekulationen sind. Es kann ebensogut sein, daß auf der Venus das Leben ganz andere Formen annimmt oder überhaupt niemals auftritt. Wir wissen nichts darüber und haben kein Recht zu raten.

Wenn wir nun unsere Reise durch den Raum fortsetzen und immer größere Strecken zwischen uns und die Sonne legen, fliegen wir an unserer eigenen Erde vorbei, die wir schon eingehend genug besprochen haben, und kommen dann zunächst zum Mars. Wenn die Venus eine Zwillingsschwester der Erde zu sein scheint, so ist der Mars wie ihr kleiner Bruder. Wenn die Venus eine wärmere Ausgabe der Erde ist, so ist der Mars eine kältere. Wenn die Venus ein Bild davon gibt, was die Erde vielleicht in einer fernen Vergangenheit war, so ist der Mars ein Bild von dem, was sie möglicherweise in einer fernen Zukunft sein wird.

Der Mars kann sich weder an Umfang noch an Masse mit der Venus oder der Erde vergleichen, da er nur etwas mehr als die Hälfte von dem Durchmesser und etwas über ein Zehntel von der Masse der Erde hat. Auch ist seine Masse viel weniger dicht gepackt als die der Erde oder der Venus, so daß seine Schwerkraft nur recht klein ist. Bei derselben Anstrengung können wir dreimal weiter und dreimal höher springen als auf der Erde — auf dem Mond war es das Sechsfache. Ein Molekül oder anderes Wurfgeschoß braucht nur eine Geschwindigkeit von 5 km in der Sekunde, um in den Raum davonzufliegen, während auf der Erde 11 km erforderlich sind. Wenn der Mars der Sonne so nahe wäre wie der Merkur, würden die Moleküle seiner Atmosphäre eine solche Geschwindigkeit recht häufig erreichen, so daß heute höchstwahrscheinlich die meisten, wenn nicht alle, längst verschwunden wären. Aber sein größerer Abstand von der Sonne hat ihn vor diesem Schicksal bewahrt; er besitzt noch eine Atmosphäre von beträchtlicher Dicke. Auf Abbildung 62 sehen wir zwei Photographien des Mars, welche auf der Lick-Sternwarte, die eine mit infrarotem, die andere mit ultraviolettem Licht, gemacht sind. Wenn wir je eine Hälfte der beiden Aufnahmen miteinander vereinigen, so erhalten wir das dritte Bild der Abbildung 62, auf welchem wir sogleich erkennen, daß das ultraviolette Bild deutlich größer ist als das infrarote. Der Unter-

schied ist nichts anderes als die Dicke der Marsatmosphäre.

Ebenso wie bei der Venus hat auch hier das Licht, in welchem wir die Oberfläche des Mars erblicken, zweimal die ganze Dicke der Marsatmosphäre durchkreuzt, so daß wir erwarten sollten, es habe gewisse Wellenlängen eingebüßt, und wir könnten aus den verlorengegangenen Wellenlängen auf die Zusammensetzung der Marsatmosphäre schließen. Aber wenn das Licht analysiert wird, stellt sich heraus, daß nichts darin fehlt. Die Astronomen auf dem Mount Wilson verfügen über außerordentlich starke Instrumente und haben speziell nach einem Beweis für das Vorhandensein von Sauerstoff oder Wasserdampf in der Marsatmosphäre gesucht. Aber sie können nichts finden und nehmen an, daß pro Quadratkilometer Oberfläche höchstens $^1/_{1000}$ soviel Sauerstoff vorhanden sein kann wie in der Erdatmosphäre.

Auch für das Vorhandensein von Wasserdampf in der Atmosphäre ist kein direktes Anzeichen zu finden, nur glaubte man eine Zeitlang, eine Art Indizienbeweis dafür zu haben. Es gibt auf dem Mars einen Wechsel von heißen und kalten Jahreszeiten wie bei uns, und man bemerkte, daß gewisse Gebilde auf seiner Oberfläche sich regelmäßig mit den Jahreszeiten verändern. Zum Beispiel erscheinen in der kalten Jahreszeit rings um die Pole weiße Kappen, die mit der warmen wieder verschwinden. Die Vermutung lag nahe, daß sie aus Eis oder Schnee bestünden — entweder in Form von Wolken gefrorener Partikel in der Luft oder als Schneefelder auf dem Boden; aber es ist natürlich ebensowohl möglich, daß der Schnee nichts weiter ist als Kohlendioxyd oder sonst irgendein Stoff, der nicht das geringste mit gefrorenem Wasserdampf zu tun hat.

Man hat auch bemerkt, daß während des Marsfrühlings — hauptsächlich in den tropischen Gegenden und auf der südlichen Halbkugel — regelmäßig dunkle Flecke erscheinen, die im Herbst wieder vergehen. Anfangs hielt man sie für Meere richtigen Wassers, aber das gilt jetzt für unwahrscheinlich. Zunächst verändern sie ihre Farbe zu oft und zu rasch; bei einem zum Beispiel beobachtete man, daß er binnen weniger Monate von Blaugrün zu Schokoladebraun hinüberwechselte und wieder zurück nach Blaugrün. Ferner ähneln sie den angeblichen Mondmeeren darin, daß auch sie niemals das Sonnenlicht reflektieren, wie wir es von richtigen Wasserflächen gewohnt sind. Vorübergehend glaubten die Astronomen, es handle sich um Wälder oder Massen anderer Pflanzen. Seitdem ist die Oberfläche des Mars auf dieselbe Art untersucht worden wie die des Mondes, und es hat sich herausgestellt, daß sie von ähnlicher Zusammensetzung ist, d. h. aus vulkanischer Lava oder verwandten Stoffen besteht. So mag es sein, daß die dunklen Flecke von Regenschauern herrühren, die eine tote, trockene, der Mondoberfläche gleichende Wüste benetzen.

Wenn wir beabsichtigen, unsere Rakete zum Mars zu lenken, müssen wir uns, das ist klar, auch für diese Reise wieder mit Wasser und Luft verproviantieren. Auch müssen wir auf ein außerordentlich unwirtliches Klima gefaßt sein, und es wird gut sein, daß wir vor unserer Abreise auch noch das Schlimmste erfahren.

Der Mars hat Tages- und Jahreszeiten wie unsere Erde. Er braucht 24 Stunden und 37 Minuten, um sich einmal um seine Achse zu drehen, so daß sein Tag ein bißchen länger ist als unserer. Und da seine Achse um einen Winkel von 25° 10′ geneigt ist, die der Erde dagegen nur um 23° 27′, so werden wir zu erwarten haben, daß die Jahreszeiten auf dem Mars ausgesprochener sind als auf der Erde; es ist ein größerer Unterschied zwischen Sommer und Winter. Diesem Umstand überlagert sich jedoch noch ein weiterer Grund für einen scharfen Wechsel der Witterung.

Die Bahn der Erde um die Sonne ist nahezu kreisförmig, aber nicht ganz, da der Abstand der Erde von der Sonne im Dezember um 3 vH kleiner ist als im Juni. Wir Bewohner der nördlichen Halbkugel sind der Sonne zur Zeit unserer Wintersonnenwende am nächsten, die Völker der südlichen Halbkugel dagegen zur Zeit ihrer Sommersonnenwende. So dienen die kleinen Schwankungen in unserem Abstand von der Sonne dazu, den Unterschied zwischen Winter und Sommer auf der nördlichen Hemisphäre abzuschwächen, auf der südlichen dagegen zu verstärken. Infolgedessen müssen wir die extremsten Witterungsunterschiede am Südpol suchen und nicht am Nordpol.

Doch variiert die Entfernung der Erde von der Sonne nicht genug, um irgendwelchen merklichen Einfluß auf unser Klima auszuüben. Beim Mars dagegen ist das anders; seine Bahn ist bei weitem nicht so kreisähnlich wie die der Erde. Unsere Entfernung von der Sonne schwankt um etwa 4½ Millionen Kilometer, aber die des Mars um über 41½ Millionen Kilometer. So wird, wenn der Mars sich der Sonne nähert, das Klima des ganzen Planeten merklich wärmer; und wenn er sich von der Sonne entfernt, wird es kälter. Diese Wechsel von allgemeiner Kälte und allgemeiner Wärme überlagern sich noch den gewöhnlichen Marsjahreszeiten. Das allgemeine Wärmemaximum, die Zeit, wenn der Mars der Sonne am nächsten ist, tritt kurz vor der Sommersonnenwende auf der südlichen Halbkugel ein, so daß wir auch auf dem Mars, ebenso wie auf der Erde, die extremsten Witterungsunterschiede auf der südlichen Hemisphäre zu suchen haben. Aber diese Extreme sind weit ausgeprägter als bei uns.

So wird es, wenn wir darauf bestehen, mit unserer Rakete auf dem Mars zu landen, jedenfalls rätlich sein, alle Wärme auszunützen, die es dort irgend gibt — wir werden noch immer genug frieren müssen. Wir wollen uns darum so einrichten, daß wir ankommen, wenn der Mars der Sonne am nächsten ist — d. h. mitten in der Periode der allgemeinen Wärme — und daß wir ein wenig südlich des Äquators um Mittag niedergehen. Dann werden wir vielleicht eine Temperatur von 15° antreffen. Aber sollten wir irgendeine Hoffnung hegen, daß wir in ein angenehmes warmes Klima gekommen sind, so wird sie rasch zerrinnen, sobald der Abend einbricht. Denn was an Wolken und an Atmosphäre vorhanden ist, genügt nicht, um die Wärme des Planeten festzuhalten, so daß es sofort kalt wird, wenn die direkte Sonnenstrahlung abnimmt — wie in einer Wüste auf der Erde, nur noch in viel höherem Maße. Es wird wahrscheinlich schon vor Sonnenuntergang anfangen zu frieren, und das Thermometer kann leicht auf 40°

unter Null fallen, ehe die Sonne von neuem auf der Bildfläche erscheint.

Und das ist das beste Klima, das der Mars zu bieten hat. Wenn wir unsere Reise bis zu den Polen ausdehnen, müssen wir uns auf Temperaturen von weniger als — 73° gefaßt machen; warten wir gar, bis der Planet seine größte Entfernung von der Sonne erreicht hat, so wird sich die Temperatur überall noch weiter erniedrigen und wir finden auf der ganzen Oberfläche vielleicht keinen Ort mehr, wo sie über dem Gefrierpunkt steht.

Wir sagten schon, daß die Oberfläche des Mars höchstwahrscheinlich der des Mondes gleicht; es wird sich also, wenn wir aus unserer Rakete aussteigen, eine Landschaft von ähnlicher Art vor uns ausbreiten, wie wir sie bereits auf unserem Satelliten gesehen haben. Irgendeine Vegetation, wenigstens von der Art, wie wir sie auf der Erde kennen, dürfen wir nicht erwarten, denn sie brauchte mehr Feuchtigkeit zu ihrem Gedeihen und würde mehr Sauerstoff ausatmen, als die Marsatmosphäre enthält.

Doch nun kommt die spannendste Frage: Werden wir Marsbewohnern begegnen? — allerdings ist sie jetzt, da wir mehr über den Mars wissen, nicht mehr so spannend, wie sie früher war.

Im Jahre 1877 beobachtete der italienische Astronom Schiaparelli den Mars sehr eingehend durch ein schwaches Fernrohr und verkündete, er habe außer den großen Flecken, die wie Meere aussehen, eine feinere Zeichnung gefunden, die er auf italienisch als „canali“ beschrieb. Er benutzte das italienische Wort nur, um anzudeuten, daß es sich um Wasserläufe handle wie den Canale Grande und die anderen venezianischen Kanäle, und nicht als wären es Kanäle in unserem Sinn, d. h. entweder gerade schmale Wasserflächen oder das Werk denkender Wesen. Aber da man in den Übersetzungen das Wort „Kanal“ gebrauchte, begannen die Leute zu argumentieren, daß, wo Kanäle seien, auch denkende Wesen sein müßten, um die Kanäle zu bauen; und so argumentieren sie noch heute.

Kürzlich sind jedoch Zweifel laut geworden, ob diese Kanäle überhaupt existieren. Es scheint so gut wie sicher zu sein, daß die Astronomen zwei verschiedene Arten von Zeichnungen auf dem Mars erblicken, die man füglich subjektive und objektive nennen könnte. Wenn unser Auge sich aufs äußerste anstrengt, um bei mangelhaftem Licht Einzelheiten zu unterscheiden, hat es unverkennbar eine Neigung, imaginäre gerade Verbindungslinien zwischen dunklen Flecken einzuschmuggeln. Ein mir bekannter Astronom pflegt dies psychologische Gesetz zu illustrieren, indem er das erleuchtete Bild eines Planeten an ein Ende seines Gartens stellt und seine Bekannten auffordert, es durch ein kleines Fernrohr zu betrachten. In der Tat glauben dann viele, deutliche schwarze Linien gleich den Marskanälen zu sehen, obgleich in Wirklichkeit nichts dergleichen vorhanden ist; die einfache Erklärung ist, daß auf dem schwach beleuchteten Bild Einzelheiten nur mit Anstrengung zu erkennen sind, und diese Anstrengung führt zum Sehen nicht vorhandener Linien. Ein anderer Astronom radierte die Linien auf einem Bild des Mars aus und ließ eine Klasse von Schuljungen das zeichnen,

was sie darauf sahen; die Buben in den hinteren Reihen brachten darauf in ihrer Zeichnung zahlreiche Kanäle an, die den sonst von den Astronomen angegebenen überraschend glichen (vgl. Tafel XXX). Da die Linien, welche die Knaben sahen, imaginär waren, liegt es nahe anzunehmen, daß es auch um die von den Astronomen gesehenen nicht viel besser bestellt ist.

Die Astronomen, die Kanäle auf dem Mars zu sehen angeben, zeichnen sie auf ihren Karten immer als gerade Linien, aber es liegt auf der Hand, daß sie, gleichgültig ob sie auf dem Mars wirklich gerade sind oder nicht, jedenfalls nicht in allen Stellungen des Mars gerade aussehen können; ein Kanal, der gerade aussieht, wenn der Planet sich in einer gewissen Stellung befindet, muß wegen der Krümmung der Marsoberfläche gebogen erscheinen, wenn der Planet durch seine Drehung in eine neue Stellung übergegangen ist (vgl. Abbildung 65). Dies scheint wiederum darauf hinzuweisen, daß die Kanäle bloße subjektive Täuschung sind. Derselbe Schluß drängt sich auf aus der Tatsache, daß man ähnliche Kanäle wie die auf dem Mars noch auf anderen Gestirnen beobachtet zu haben glaubt, auf denen das Vorhandensein solcher Gebilde außerordentlich unwahrscheinlich ist, wie z. B. auf der Venus, von der man heute annimmt, daß sie von dicken Wolken eingehüllt ist, auf dem Merkur, wo das Wasser kochen müßte (Abbildung 65) und auf Jupitermonden, wo es gefrieren würde.

Der photographische Apparat gibt gewöhnlich den endgültigen Ausschlag dafür, ob etwas wirklich vorhanden ist oder nicht; nun zeigen Marsaufnahmen zwar

sehr bestimmte Zeichnungen, aber diese ähneln in keiner Weise den vermeintlichen Kanalsystemen. Immerhin ist das in diesem Fall kein durchaus schlüssiger Beweis, denn die photographische Aufnahme ist aus technischen Gründen ungeeignet zur Wiedergabe sehr feiner Zeichnungen, und es ist durchaus denkbar, daß diese, wie die Kanalbeobachter behaupten, am besten von dem menschlichen Auge wahrgenommen werden können.

Zusammenfassend können wir jedenfalls sagen, daß das gehäufte Beobachtungsmaterial und die allgemeine Meinung der Astronomen gleich sehr gegen die Existenz der angeblichen Marskanäle spricht. Das beweist natürlich nicht, daß es kein Leben auf dem Mars gibt, es vernichtet nur den Hauptgrund, der viele Leute dazu geführt hat, es anzunehmen.

So brauchen wir, glaube ich, wenn wir unsere Rakete zum Mars zu lenken beschließen, uns nicht sehr darum zu beunruhigen, ob wir dort auf Marsbewohner stoßen werden. Wahrscheinlicher ist es, daß wir eine unbewohnte und ungastliche Wüste vorfinden, die vielleicht nicht ganz so extreme klimatische Bedingungen aufweist wie der Mond, in mancher Beziehung aber noch schlimmer sein mag, da das bißchen Wärme, das vorhanden ist, nie länger als ein paar Stunden vorhält.

Wenn wir den Mars verlassen und weiter in den Raum hinausreisen, werden wir finden, daß wir einen langen, langen Weg zurückzulegen haben, ehe wir auf den nächsten Planeten, den Jupiter, stoßen. Unsere Fahrt mag nicht ganz ohne Zwischenfälle ablaufen, da sie uns durch die Riffe der kleinen Planeten oder

Asteroiden hindurchführt, von denen wir bereits gesprochen haben. Ceres, der größte von ihnen, hat einen Durchmesser von nur 760 km, d. h. weniger als ein Viertel des Monddurchmessers, und die einzige bekannte Grenze für die Größe des kleinsten ist die, welche durch die Stärke unserer Fernrohre gesetzt wird. Unterhalb der kleinsten Asteroiden, die wir sehen können, muß es tausende noch kleinere geben, die wir von der Erde aus nicht sehen können, weil sie zu klein sind. Eine Anzahl von ihnen erspähen wir aber vielleicht jetzt von unserer Rakete aus auf unserer langen Reise vom Mars zum Jupiter.

Viele der Asteroiden rotieren im Raum, wobei eine vollständige Umdrehung meist zwischen 8 und 10 Stunden beansprucht, und manche erscheinen verschieden hell, während sie sich drehen. Diese Helligkeitsschwankung ist wahrscheinlich dadurch verursacht, daß die betreffenden Asteroiden von unregelmäßiger Gestalt sind, so daß die Größe der Oberfläche, die sie unserem Blick darbieten, beständig wechselt. Die gewaltige Gravitationskraft eines so großen Körpers wie die Erde bewirkt, daß dieser Körper eine nahezu sphärische Gestalt annimmt, aber für einen kleinen Körper gilt das nicht, und viele der Asteroiden sind so klein, daß die Schwerkraft nicht viel dazu getan haben kann, um Kugeln aus ihnen zu machen. Auf manchen ist die Gravitation so schwach, daß ein guter Tennisspieler in Gefahr wäre, alle seine Bälle in den Raum hinauszuschlagen — und ein Ball, den man auf diese Art ausgeschlagen hätte, wäre für immer verloren, er würde selbst ein neuer Planet werden und seinerseits die Sonne

umkreisen. Es erübrigt sich zu sagen, daß die Asteroiden viel zu klein sind, um eine Atmosphäre festhalten zu können.

Schließlich tauchen wir aus diesem Asteroidenschwarm wieder auf und nähern uns nunmehr dem Jupiter. Schon von weitem sehen wir, daß er nichts weniger als kugelförmig ist; er ist ungefähr zwanzigmal mehr abgeplattet als die Erde, so daß wir nun wirklich einen Planeten gefunden haben, von dem wir mit Fug und Recht sagen können, daß er wie eine Orange aussieht (Abbildung 66).

Der Planet könnte unmöglich so abgeplattet sein, wenn er sich in Ruhe befände, denn dann wäre er unter der Einwirkung seiner ungeheuren Gravitationskraft fast völlig sphärisch geworden. So kann es uns nicht überraschen, daß er sich rasch im Raume dreht und zu einer ganzen Umdrehung ein paar Minuten weniger als 10 Stunden braucht. Die Abplattung läßt sich ihrem vollen Betrag nach aufklären als das Ergebnis dieser raschen Rotation, bei welcher sich ein Punkt am Äquator des Planeten mit einer Geschwindigkeit von etwa 44 800 km in der Stunde um die Achse bewegt — während ein Punkt am Erdäquator eine entsprechende Geschwindigkeit von 1664 km hat.

Der Mars war für unseren Geschmack schon kalt genug, aber der Jupiter ist noch unvergleichlich viel kälter. Er ist mehr als fünfmal weiter von der Sonne entfernt als die Erde, so daß 25 qkm seiner Oberfläche weniger Strahlung von der Sonne empfangen als ein einziger auf der Erde. Wir können uns eine ungefähre Vorstellung von dem physikalischen Zustand des

Jupiter machen, wenn wir uns vorstellen, daß unser Tribut an Sonnenstrahlung plötzlich auf ein Fünfundzwanzigstel oder noch weniger herabgesetzt würde. Die ganze Erdoberfläche wäre dann sehr bald steinhart gefroren, und alle Bewegung hörte auf. Wir sollten daher erwarten, daß der Jupiter sich in einem ähnlich starren Zustand befindet, aber das trifft nicht zu. Gleich der Venus ist er vollständig in Wolken gehüllt, die so dicht sind, daß selbst infrarotes Licht sie nicht in merklichen Beträgen durchdringen kann. Diese Wolken zeigen unablässige, merkwürdige Veränderungen. Das bekannteste Beispiel ist die Erscheinung des sogenannten roten Flecks, der zuerst 1878 bemerkt wurde. Er wuchs allmählich, bis er eine Länge von ungefähr 48 000 km und eine Breite von 11 200 km erreicht hatte — d. h. größer war als die ganze Erdoberfläche. Dann wurde er runder und runder, wobei er sich gleichzeitig zusammenzog, und jetzt ist er fast verschwunden. Es ist denkbar, daß gerade dieser Fleck durch irgendeine besondere Katastrophe entstanden ist, aber andere geringfügigere Veränderungen, die beständig vor sich gehen, zeigen deutlich, daß der Jupiter keine tote gefrorene Masse ist. Das geht auch aus dem Umstand hervor, daß man Wolkengürtel beobachtet hat, die in verschiedenen Breiten mit verschiedenen Geschwindigkeiten rotieren, am schnellsten diejenigen, die dem Äquator am nächsten sind.

All diese Bewegung wurde früher als ein Zeugnis dafür angesehen, daß der Jupiter eine ziemlich hohe Temperatur habe und also die spärliche Wärmeversorgung, die er von der sehr entfernten Sonne empfängt,

beträchtlich aus seinen eigenen inneren Vorräten ergänze. Wir wissen jetzt, daß dies nicht der Fall ist. Direkte Messungen zeigen, daß die Temperatur des Jupiter höchstens — 117° ist, und das ist etwa so viel, wie wir erwarten müssen, wenn er im wesentlichen durch die Sonnenstrahlung erwärmt wird und sehr wenig eigene Wärme besitzt.

Wenn der Jupiter aber eine so niedrige Temperatur hat, ist es klar, daß seine Wolken kein gewöhnlicher Wasserdampf sein können; sie müssen aus Stoffen bestehen, die noch in dampfförmigem Zustand verharren bei Temperaturen, bei denen Wasserdampf längst gefroren sein würde. Wie bei den anderen Planeten untersucht man auch die Atmosphäre des Jupiter, indem man nachsieht, welche Wellenlängen in dem Sonnenlicht fehlen, das auf seinem Weg zu und von dem Planeten durch sie hindurchgegangen ist. Die Deutung der Beobachtungen macht gewisse Schwierigkeiten, aber sie sprechen deutlich für das Vorhandensein zweier Gase in der Jupiteratmosphäre, von Ammoniak und Methan.

Ammoniak ist uns allen wohl bekannt als das Zeug, das uns Tränen in die Augen treibt, wenn wir es riechen oder ungeschickterweise die Flasche zerbrechen, in der wir es aufbewahrten. Auch in Riechsalzen können wir seine Gegenwart gelegentlich feststellen; es ist das eigentlich wirksame, aber weniger angenehme Element darin, das der Fabrikant zu verdecken sucht, indem er es mit wohlriechenderen Ingredienzen mischt. Gute Dienste tut es uns bei Bienen- oder Mückenstichen, denn da es sehr alkalisch ist, neutralisiert es die Säure des Stichs und lindert den Schmerz.

Methan ist uns besser bekannt unter seinem volkstümlichen Namen, als Sumpfgas. Wenn pflanzliche Stoffe sich unter Wasser zersetzen, steigt es an die Oberfläche, wo es manchmal aufleuchtet und dann die Irrlichter bildet, von deren verhängnisvoller Lockung die Märchen erzählen. Es ist auch ein Bestandteil der schlagenden Wetter in Kohlenbergwerken und der Gase, die bei vulkanischen Eruptionen ausgeworfen werden.

Keines dieser Gase ist besonders angenehm, und im ganzen scheint die Jupiteratmosphäre das zu sein, was Hamlet als „faule, stinkende Dünste" bezeichnet. Wir sollten unsere Rakete lieber nicht dort niedergehen lassen; wir würden doch nur die ganze Zeit husten und niesen und weinen müssen. Überdies hat der Jupiter 317mal mehr Masse als die Erde, so daß seine Schwerkraft mit Vorsicht zu behandeln ist. Das erhebende Gefühl, mühelos alle turnerischen Rekorde brechen zu können, das wir auf dem Mond genossen haben, wird sich hier nicht wiederholen; im Gegenteil, es wird ein ernsthaftes Problem für uns sein, wie wir unser eigenes Gewicht tragen sollen. Die Beine eines Menschen, der auf der Erde 150 Pfund wiegt, müssen auf dem Jupiter eine Last von 400 Pfund tragen, und wir sind in Gefahr, unter unserem eigenen Gewicht zusammenzubrechen, wenn wir es nicht machen wie der Cetiosaurus und in eine Flüssigkeit eintauchen, um den Zug der Schwerkraft zu vermindern. Wenn wir das Universum ohne Unfall umreisen wollen, dürfen wir es nicht verschmähen, praktische Winke von einem ausgestorbenen Reptil (Abbildung 24) anzunehmen.

Man kann sich schwer vorstellen, daß ein Planet weniger einladend sein sollte als der Jupiter, aber der Saturn bringt es fertig; und die weiter draußen gelegenen Planeten — Uranus, Neptun und Pluto — sind wahrscheinlich noch ungemütlicher als der Saturn. Wir wissen wenig von diesen fernen Gliedern der Sonnenfamilie. Der Saturn scheint weniger Ammoniak in seiner Atmosphäre zu haben als der Jupiter, gleicht das aber aus durch einen höheren Gehalt an Sumpfgas. Er ist noch kälter als der Jupiter. Andererseits kommt seine Gravitationskraft dem, was wir gewöhnt sind, näher, sie ist nur um ein Sechstel größer als die der Erde. Dem Aussehen nach ist er der distinguierteste von allen Planeten, da er von einem System von Ringen umgeben ist, die sich in einem Fernrohr außerordentlich malerisch ausnehmen, für Saturnbesucher aber wieder Nachteile besonderer Art mit sich bringen. Sie bestehen nämlich aus Milliarden kleiner Monde, die sich alle in nahezu kreisförmigen Bahnen um den Saturn drehen (Abbildung 67). Da sie jedoch gleichzeitig beständig aufeinander Gravitationskräfte ausüben, können ihre Bahnen nicht genau kreisförmig sein, und die winzigen Möndchen müssen gelegentlich gegeneinanderprallen. Wenn das passiert, steht zu erwarten, daß Mondtrümmer auf den Saturn fallen, und die Wirkung auf eine zu Besuch gekommene Rakete kann man sich leicht vorstellen.

Ehe wir diese düsteren Szenen verlassen, wollen wir noch einen Blick auf den Pluto werfen, den letztentdeckten, fernsten und kältesten aller Planeten. Wir wissen viel weniger über ihn als über alle anderen; er mag eine Art Zwillingsbruder des Mars sein, ihm un-

gefähr gleich an Masse und Größe, aber mit ganz anderen physikalischen Bedingungen. Ein Quadratmeter seiner Oberfläche empfängt nur den 1600sten Teil der Strahlung, die ein Quadratmeter Erde empfängt, so daß wir uns seinen physischen Zustand auf keine Weise vorstellen können. Seine Gravitationskraft ist so schwach, daß er wohl kaum eine Atmosphäre haben kann, immerhin mag er mehr haben als der Mars, da seine Temperatur viel niedriger ist als die des Mars.

Überblicken wir noch einmal alle unsere Reiseerfahrungen, so müssen wir sagen, es sieht fast so aus, als könnten wir das ganze Sonnensystem durchwandern, ohne Menschen gleich uns oder auch nur Tiere und eine Vegetation der uns von der Erde bekannten Art anzutreffen. Auf unserem eigenen Planeten dagegen, dem einzigen Fleck des Systems, mit dem wir wirklich vertraut sind, ist das Leben so allgegenwärtig, daß wir uns kaum physikalische Bedingungen vorstellen können, unter denen es nicht in einer oder der anderen Form zu existieren vermöchte. Wir finden es in den kältesten und den heißesten Gegenden, in den Tiefen des Meeres und im festen Erdboden, ja in den unterirdischen Ölströmen. Es hat an diesen verschiedenen Orten sehr verschiedene Formen angenommen, von denen jede der besonderen Umgebung angepaßt ist. Da dem so ist, werden wir wohl zuzugeben haben, daß es auf anderen Planeten andere Formen angenommen haben mag, die den ganz andersartigen Bedingungen dort entsprechen. Wir haben kein Recht, zu behaupten, daß es nur auf der Erde Leben gibt, aber wir können mit einiger Sicherheit annehmen, daß es, wenn es

außerhalb unserer Erde vorkommt, sehr verschieden von dem uns bekannten sein muß — ja vielleicht völlig verschieden von allem, was wir uns überhaupt vorstellen können.

Die Planeten haben unsere Aufmerksamkeit so gefesselt, daß uns jetzt kaum noch Zeit bleibt, einen Blick auf ihre Satelliten oder Monde zu werfen. Die Erde hat nur einen einsamen Mond, aber ein paar Planeten sind viel reicher ausgestattet — Jupiter z. B. hat zehn, Saturn neun von ansehnlicher Größe und dazu noch die Millionen winziger Begleiter, welche die Ringe bilden. Uranus besitzt vier, Mars zwei, Neptun einen, während Merkur und Venus, die beiden sonnennächsten Planeten, keinen haben, und dasselbe wahrscheinlich für Pluto, den sonnenfernsten, gilt.

Abgesehen von den Möndchen in den Saturnringen haben die neun Planeten zusammen 27 Monde oder jeder im Mittel 3, so daß die Erde mit ihrem einzigen weniger als den ihr gebührenden Anteil bekommen zu haben scheint. Aber das stimmt nur, solange wir nach der Anzahl urteilen; wenn wir nach dem Gewicht gehen, hat die Erde mehr als ihr zukommt; im Verhältnis zu ihrem Gewicht hat sie mehr Mondmasse als irgendeiner der anderen Planeten.

Wir sind alle vertraut mit den Gezeiten, die der Mond in unseren Meeren hervorruft. Da die Entfernung des Mondes etwa dreißig Erddurchmesser beträgt, ist seine Gravitationsanziehung an dem Punkt, der gerade unter ihm liegt, um $^1/_{30}$ stärker als im Erdmittelpunkt, und bei den Antipoden dieses Punktes um ebensoviel geringer. Auf Abbildung 68 können wir die Anziehung

des Mondes in den drei Punkten B, C, D jeweilig durch die Zahlen 31, 30 und 29 darstellen. Wenn wir 31 in 30 + 1 und 29 in 30 — 1 zerlegen, können wir annehmen, daß ein gleichmäßiger Zug von 30 auf der ganzen Erde besteht und dazu ein Zug von + 1 gegen den Mond in B und ein Zug von — 1 gegen die Erde in D. Das letztere ist natürlich dasselbe wie ein Stoß + 1 vom Mond weg. Der gleichmäßige Zug 30 wird gerade dazu aufgebraucht, um Erde und

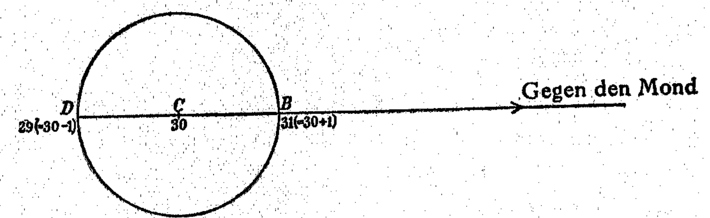


Abb. 68. Schematische Darstellung der vom Mond auf die Erde ausgeübten Anziehungskraft, durch welche die Gezeiten entstehen

Mond auf ihren richtigen Bahnen zu erhalten, so daß wir uns nicht weiter um ihn zu kümmern brauchen. Ihm überlagern sich jedoch die beiden Züge + 1 und — 1 an entgegengesetzten Seiten der Erde. Diese entgegengesetzten Züge nun dehnen die Erde aus, wie man ein Stück Gummi ausdehnen kann, wenn man mit beiden Händen in entgegengesetzten Richtungen daran zieht, und verursachen auf diese Weise die Gezeiten. Wir sahen schon, daß die Erde härter ist als Stahl, sie wird dem Zug also weniger nachgeben als der flüssige Ozean auf ihr. Infolgedessen werden uns nur die Gezeiten in diesem flüssigen Ozean bewußt, doch sind die Gezeiten, die wir wirklich sehen, nur

der Unterschied zwischen denen im Ozean und denen in der festen Erde, wobei die letzteren winzig klein sind im Vergleich zu den ersten.

Wenn der kleine Mond die dicke Erde auf diese Weise dehnen kann, leuchtet es ein, daß die dicke Erde den Mond noch viel mehr dehnen muß, und dasselbe gilt von allen Planeten und ihren Monden. Bei unserem eigenen Mond können wir diese Dehnung nicht feststellen, da wir niemals auf seine Breitseite schauen; aber der Vorgang kann sehr gut an einem der Jupitermonde beobachtet werden. Ein Fernrohr zeigt, daß der Mond, welcher dem Riesenplaneten zunächst steht, so langgezogen ist, daß er eher einem Ei gleicht als unserer Vorstellung von der Gestalt eines Mondes. Dieser kleine Mond wird sich im Lauf der Zeit dem Jupiter noch weiter annähern. Und je näher er ihm kommt, um so stärker wird Jupiter an ihm ziehen, und um so gestreckter und eiförmiger wird der kleine Mond werden. Sein großer Nachbar reckt ihn, als wäre er ein Stück Gummi.

Aber wir wissen, daß kein Stück Gummi unbegrenzt ausgedehnt werden kann. Einmal wird es reißen — und dasselbe wird dem kleinen Mond geschehen. Aus der Rechnung ergibt sich, daß er zuerst in zwei Stücke zerreißen und der Jupiter dann noch einen weiteren Mond haben wird. Aber da die beiden neuen Möndchen dem Jupiter ungefähr ebenso nahe sein werden, wie der alte war, werden auch sie langgezogen und eiförmig werden. Mit der Zeit werden sie ebenfalls zerreißen, und da der Vorgang sich unabsehbar wiederholt, wächst die Anzahl der Jupitermonde unbegrenzt.

Wir können sagen, daß der Jupiter von einer Art Gefahrzone umgeben ist. Wenn sich ein Mond oder irgendein Körper der Gefahrzone nähert, wird er eiförmig; wenn er schließlich in die Gefahrzone eintritt, wird er zerrissen — und bleibt er lange genug darin, so löst er sich in eine Unzahl winziger Monde auf.

Wir erzählen hier keine Märchen, sondern das Resultat exakter mathematischer Rechnungen. Sobald wir die Gravitationskraft eines Planeten oder irgendeines anderen Körpers kennen, können wir seine Gefahrzone abstecken. Natürlich wirkt eine Gefahrzone verschieden auf verschiedene Substanzen; eine dünne Gaswolke ist in Gefahr in Gegenden, in die sich ein stahlharter Gegenstand unbedenklich hineinwagen kann. Aus diesen Berechnungen nun geht hervor, daß der kleine eiförmige Trabant des Jupiter dessen Gefahrzone sehr nahe ist. Ebenso ist einer der kleinen Marsmonde der Gefahrzone des Mars nahe, wenn auch nicht so nahe, und einer der Saturnmonde der Gefahrzone des Saturn.

Diese letztere Gefahrzone ist von besonderem Interesse, da die Millionen kleiner Monde, welche den Saturn in Gestalt seiner Ringe umgeben, sich bereits in ihr befinden. Es scheint, als ob irgendwann einmal ein gewöhnlicher Mond in die Gefahrzone des Saturn geraten und darin in die Millionen winziger Monde zerrissen wäre, die jetzt die Ringe bilden. So sind die Ringe ein sichtbarer Beweis für das tatsächliche Vorhandensein von Gefahrzonen und verkünden anderen Körpern das Schicksal, das ihrer wartet, wenn sie von der Schwerkraft großer Massen eingefangen werden. Ich habe hier früher schon die Geschichte von Kipling erzählt, wie der Elefant seinen Rüssel bekam. Jetzt habe ich versucht, die Geschichte zu erzählen, wie der Saturn seine Ringe bekam — vielleicht nicht so hübsch und lustig wie Kipling, aber dafür ist meine Geschichte „wirklich wahr" und nicht bloß eine „Justso"-Fabel.

Unsere eigene Erde hat ebenfalls ihre Gefahrzone. Bis jetzt hat sich der Mond noch ziemlich weit draußen gehalten, aber allmählich werden Erde und Mond näher zusammenrücken, und dabei wird der Mond immer eiförmiger werden, bis er endlich die Gefahrlinie überschreitet und zu zerreißen beginnt. Es ist nur eine Sache der Zeit, bis wir auch eine elegante Halskrause haben wie der Saturn. Dann sind wir unseren Mond los, aber nicht unser Mondlicht. Denn die Milliarden winziger Möndchen werfen das Sonnenlicht weiter in den Nächten zu uns nieder; es wird sogar noch heller sein in jener fernen Zukunft, denn wenn ein Mond zerbricht, vergrößert sich wie bei allen anderen Körpern auch bei ihm die Gesamtoberfläche. Und außerdem sind dann alle Nächte mondhell. Aber das Leben auf der Erde wird trotzdem nicht sehr gemütlich sein, denn von Zeit zu Zeit werden immer wieder zwei der Möndchen zusammenstoßen und ihre Trümmer auf die Erde fallen gleich ungeheuren Meteoren, ganz ebenso wie jetzt auf den Saturn.

Das Sonnensystem liefert uns noch einen weiteren Beweis dafür, daß eine solche Gefahrzone wirklich besteht. Wir sahen schon, daß die Kometen sich nicht auf kreisförmigen Bahnen um die Sonne bewegen wie die Planeten, sondern auf langgezogenen ovalen Kurven, die wir Ellipsen nennen. Für gewöhnlich beginnt ein

Komet erst, unsere Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, wenn er ganz nahe an die Sonne herangekommen ist. Dann bewirkt die Sonnenstrahlung, die auf ihn niederhagelt, daß er einen mächtigen Schwanz auswirft, der oft Millionen von Kilometern lang sein kann und ihn zu einem eindrucksvollen, schönen, ja erschreckenden Objekt am Himmel macht.

Zuweilen gerät ein Komet in eine Gefahrzone hinein, vielleicht in die der Sonne oder auch nur in die des Jupiter oder Saturn, und die Folge ist, daß er in Stücke zerreißt. Von einer ganzen Anzahl hat man beobachtet, daß sie in zwei Stücke zerbarsten, während einer in vier Stücke auseinanderriß. Die merkwürdigste Geschichte ist die des Bielaschen Kometen, der im Jahr 1846 bei während der Beobachtung in zwei Stücke zerbrach. Sechs Jahre später, als seine Bahn ihn wieder in die Nähe der Sonne brachte, konnte man feststellen, daß die beiden Stücke 2,4 Millionen Kilometer voneinander entfernt waren. Seither ist keines von beiden mehr in Kometenform gesichtet worden, aber dort, wo sie sein sollten, befindet sich ein Schwarm von Millionen von Meteoren, die wir jetzt als die Bieliden bezeichnen. Gelegentlich stoßen sie auf die Erdbahn und geben dann — gewöhnlich am oder um den 27. November — das Schauspiel eines großartigen Sternschnuppenfalls. Unzweifelhaft sind die beiden Stücke, in welche der Komet anfänglich zerriß, später nochmals in eine andere Gefahrzone gekommen und infolgedessen in zahllose kleine Stücke zerborsten. Es gibt noch viele andere Beispiele von Kometen, die als solche verschwunden und in Form eines Meteorschwarms wieder aufgetaucht sind.

Nicht nur die Sonne, sondern auch jeder andere Stern übt natürlich eine Gravitationsanziehung aus und hat daher eine Gefahrzone um sich. Wenn die Sterne durch den Raum wandern, muß es gelegentlich geschehen, daß einer in die Gefahrzone eines anderen größeren Himmelskörpers gerät. Dann müssen sich dieselben Vorgänge abspielen, wie die eben erörterten, nur in weit größerem Maßstab. Wie das Krokodil den Rüssel aus dem Elefantenbaby herauszog, so wird der größere Stern eine Art Rüssel aus dem kleineren herausziehen — eine lange Nase oder Faser aus Gas, die allmählich in kleine Stücke auseinanderbricht. Es sieht so aus, als sei der Sonne irgendwann in einer fernen Vergangenheit einmal ein Mißgeschick dieser Art zugestoßen; und die kleinen Stücke sind unsere Planeten. So können wir zu unserer Geschichte ein neues Kapitel hinzufügen: Wie die Sonne zu ihren Planeten kam.

Die Planeten nun mögen von demselben Mißgeschick ereilt sein, indem sie in die Gefahrzone der Sonne gerieten und auch ihrerseits in Stücke gingen. Wenn dem so ist, liefert es uns abermals ein Kapitel: „Wie die Planeten ihre Monde bekamen." Der traurigste Abschnitt hierin wird von der Geschichte eines bestimmten Planeten handeln, dem ein besonders hartes Schicksal zugeteilt war. Er bewegte sich ursprünglich, soweit wir wissen, zwischen Mars und Jupiter, aber sein Lauf führte ihn in irgendeine Gefahrzone, wahrscheinlich die des Jupiter. Es fing damit an, daß er auseinanderriß, sozusagen nur um ein paar Monde für sich selbst herzustellen, und endete damit, daß er selbst nur noch ein Haufe von Monden war. Jedenfalls ist nichts von

ihm übriggeblieben als winzige Bruchstücke, welche, wie wir glauben, die Asteroiden oder kleinen Planeten sind, von denen wir bereits gesprochen haben. Der eine von ihnen, Eros mit Namen, welcher der Erde am nächsten ist, hat die Form eines Eis oder einer Birne oder einer Hantel; vielleicht war er im Begriff, weiter zu zerreißen und kam noch gerade heil davon.

VI. Kapitel

Die Sonne

Bis jetzt haben wir uns nur mit den kleineren Himmelskörpern befaßt. Die kleinsten waren die Materiekügelchen, die wir Sternschnuppen nennen, sobald sie in die Atmosphäre der Erde eintreten; sie sind so klein, daß wir Tausende von ihnen in jeder Hand halten können. Der größte Himmelskörper, von dem wir gesprochen haben, war der Riesenplanet Jupiter, dessen Durchmesser rund elfmal größer ist als der unserer Erde; d. h. eine Kiste, die so groß ist, daß der Jupiter darin Platz hat, könnte $11 \times 11 \times 11$ oder 1331 Erden enthalten — 11 in jeder Richtung. Aber selbst der Jupiter ist noch ganz klein, verglichen mit der Sonne, mit der wir uns in diesem Kapitel beschäftigen wollen, und die Sonne ist noch kleiner, verglichen mit den größeren Sternen und den anderen Himmelskörpern, die wir später betrachten werden. Grob gesagt, ist die Sonne ebensoviel größer als der Jupiter, wie der Jupiter größer ist als die Erde — Jupiter könnte über tausend Erden in sich aufnehmen, und die Sonne könnte über tausend Jupiters beherbergen. Um die Folge fortzusetzen, könnten wir sagen, daß jeder der blauen Sterne, die uns später begegnen werden, über tausend Sonnen umfassen kann und jeder der „roten Giganten" über

tausend blaue Sterne. Und gewisse Nebel, über die wir in unserem allerletzten Kapitel sprechen müssen, können nicht nur, sondern enthalten tatsächlich einige tausend Millionen Sterne.

Wir können uns diese Folge als eine Tabelle darstellen, wobei alle Zahlen natürlich nur sehr rohe Annäherungen sind:

Erde	1
Jupiter	1 000
Sonne	1 000 000
Blaue Sterne	1 000 000 000
Rote Sterne	1 000 000 000 000
Nebel	1 000 000 000 000 000

Stellen wir uns vor, wir lenkten unsere Rakete noch einmal zum Himmel und betrachteten die Oberfläche der Sonne aus der Nähe. Abbildung 69 zeigt sie, wie sie uns von unterwegs erscheinen wird. Der auffälligste Zug ist wahrscheinlich der Schatten am Rand; auf den ersten Blick sieht es aus, als sei der Rand der Sonne viel weniger hell als die mittleren Teile ihrer Oberfläche. Dasselbe Dunklerwerden sehen wir noch deutlicher auf Tafel XXXV. Wenn die Sonne fest oder flüssig wäre, würde ihre Oberfläche überall gleich hell erscheinen wie die einer gewöhnlichen leuchtenden Kugel. Das scheinbare Dunklerwerden des Randes ist ein Beweis dafür, daß die Oberfläche der Sonne gasförmig ist.

Im übrigen zeigt uns unser Bild keine anderen Einzelheiten als Gruppen von Sonnenflecken, die jedoch durch ihre Größe und Beschaffenheit recht bemerkenswerte Objekte sind. Mindestens sechs von ihnen könnten die Erde ohne Schwierigkeit verschlingen, denn in dem Maßstab dieser Aufnahme wäre die Erde nur ein Sandkorn von $^1/_{10}$ cm im Durchmesser. Auf der Sonne sind diese ungeheuren Flecken jedoch keine Seltenheit, es treten gelegentlich Sonnenflecken auf, die alle Planeten auf einmal verschlucken könnten.

Flecken von diesem Format kommen nicht jeden Tag, ja nicht einmal jedes Jahr vor, aber Flecken überhaupt können recht oft beobachtet werden. Sie treten nicht in einem stetigen Strom, sondern eher in Stößen oder Wellen auf, und ihre Anzahl scheint in einer Periode von elf Jahren zu schwanken. Besonders viele Sonnenflecken gab es 1906, 1917, 1928 und wird es wieder 1939 geben.

Wenn wir die Oberfläche der Sonne nach Flecken absuchen, dürfen wir es ja nicht ohne eine dunkle Brille oder wenigstens ein Paar dickberußter Gläser tun, da sonst unsere Augen ernsthaften Schaden leiden könnten. Galilei, der als erster die Sonnenflecken untersuchte, erblindete im Alter und leitete sein Unglück davon her, daß er mit ungeschützten Augen in das Licht der Sonne geschaut hatte.

Man hat sich oft gefragt, ob astronomische Ereignisse wie Neumond oder Vollmond irgendeinen Einfluß auf das Wetter haben. Allgemein gesprochen, ist es den Forschern nicht gelungen, einen Zusammenhang irgendwelcher Art zwischen dem Wetter und astronomischen Ereignissen herzustellen, mit einer einzigen Ausnahme, den Sonnenflecken. Es liegen gewisse Zeugnisse dafür vor, daß das Wetter einen regelmäßigen Zyklus mit

derselben Periode von elf Jahren durchläuft wie die Häufigkeit der Sonnenflecke. In dem Maße wie die Zahl der Sonnenflecken zu- und wieder abnimmt, werden die Sommer feuchter und kühler bzw. trockener und wärmer, wobei der ganze Zyklus ungefähr einmal in elf Jahren durchlaufen wird. Wir wollen uns an zwei Beispielen die Art der Zeugnisse hierfür klarmachen.

Wenn ein Baum gefällt wird, sehen wir eine Folge konzentrischer Ringe in dem Querschnitt seines Stammes, und wir wissen, daß jeder Ring das Wachstum eines einzelnen Sommers bedeutet. Durch Abzählen der Ringe können wir bestimmen, wie viele Jahre der Baum alt ist. Aber während die Jahre alle gleich lang waren, sind die Ringe nicht alle gleich dick. Einige haben sich in feuchten Sommern gebildet, als der Baum üppig wuchs und seinen Umfang mächtig vergrößerte, andere in trockenen, die nicht viel zu dem Wachstum hinzufügten. Professor Douglas hat nun eine Methode ausgebildet, durch die er von irgendeinem bestimmten Jahr entscheiden kann, ob es trocken oder naß war, indem er die einzelnen Ringe mit den aufeinanderfolgenden Lebensjahren des Baumes zur Deckung bringt; der Baum ist sozusagen ein lebendiges Protokoll des Wetters, das er während seiner Lebenszeit gehabt hat. Abbildung 70 gibt uns dafür ein aufschlußreiches Beispiel. Eine sorgfältige Untersuchung solcher Querschnitte von Bäumen zeigt in der Tat, daß sich die Dicke der Ringe allmählich verändert in einer Periode von elf Jahren, die genau mit der Periode der Sonnenflecken zusammenfällt (vgl. Abbildung 71). Die dicksten

Ringe wurden in den Jahren angesetzt, in welchen es die meisten Sonnenflecke gab, und wir sehen ohne weiteres, daß eine Fülle von Sonnenflecken mit einer Wachstumsfülle der Bäume, d. h. mit feuchten Sommern einhergeht.

Abbildung 72 stellt zwei Kurven zusammen, die einen weiteren Beweis hierfür erbringen. Die untere Kurve

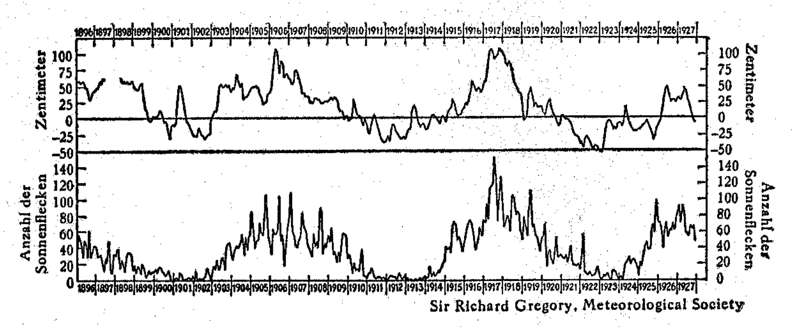


Abb. 72. Die obere Kurve gibt den Wasserstand im Viktoria-Nyanza-See an, die untere zeigt die Häufigkeit der Sonnenflecken zu derselben Zeit. Die beiden Kurven laufen, wie man sieht, fast völlig parallel, ein Beweis dafür, daß die Sonnenflecken Einfluß auf das irdische Wetter haben

zeigt die Häufigkeit der Sonnenflecken in den Jahren 1896 bis 1927, wobei natürlich jede volle Welle der Kurve einen einzelnen elfjährigen Sonnenfleckenzyklus darstellt. Die obere Kurve verzeichnet den Wasserstand in dem Viktoria-Nyanza-See, dem großen Süßwassersee in Mittelafrika. Wir sehen, daß der Wasserstand des Sees fast genau parallel geht mit der Häufigkeit der Sonnenflecken und sich wie sie in einem Zyklus von elf Jahren bewegt. Natürlich steht das Wasser hoch nach einem nassen Jahr, so daß wir hier wiederum einen Beweis

dafür haben, daß das Wetter feucht ist, wenn die Sonnenflecken häufig sind und umgekehrt.

Obgleich sich die Häufigkeit der Sonnenflecken langsam und allmählich verändert, so daß die Durchlaufung des ganzen Zykels eine Angelegenheit von elf Jahren ist, halten sich die einzelnen Sonnenflecken selten länger als ein paar Tage. Tafel XXXIV zeigt, wie sehr ein großer Sonnenfleck sich sogar innerhalb eines einzigen Tages verändern kann. Auf Tafel XXXV sehen wir die allmähliche Entwicklung einer recht unübersichtlichen Fleckengruppe in sechs Bildern, von denen fünf an aufeinanderfolgenden Tagen aufgenommen sind. Die Flecken rücken stetig nach rechts hinüber, nicht weil sie sich auf der Sonnenscheibe bewegten, sondern weil die Sonne rotiert und sie mit sich führt. Nach dem sechsten Tag kann man die Flecken nicht mehr sehen, weil die Umdrehung der Sonne sie unseren Blicken entzogen hat.

Ein außergewöhnlich großer Fleck verschwindet gelegentlich auf diese Art und kommt dann ungefähr 14 Tage später am anderen Sonnenrand wieder herauf. Durch Messung dieser Bewegung der Sonnenflecken bewies Galilei als erster, daß die Sonne sich drehe, und zeigte, daß sie etwa 26 Tage zu einer Umdrehung braucht.

Wenn wir in unserer Rakete einen dieser Flecken überfliegen, werden wir uns vorkommen wie in einem Flugzeug, das über den Schornstein eines Dampfers weggleitet. Wir werden ein gewaltiges Ausströmen heißer Gase bemerken, und es wird uns klar werden, daß die Sonnenflecken eine Art Ventil sind, aus denen Massen heißer Gase mit unerhörten Geschwindigkeiten her-

ausgeschleudert werden. Die fürchterliche Hitze im Sonneninnern erhält die äußeren Schichten der Sonne in einem Zustand ununterbrochener Bewegung; wir könnten sie vergleichen mit Wasser, das von einem heißen Feuer zu wildem Kochen gebracht wird. Wir sind alle vertraut mit den großen Luft- und Dampfblasen, die aus siedendem Wasser aufsteigen. Wenn sie endlich an die Oberfläche gelangt sind, ist der Druck, der sie bis dahin zusammengepreßt hat, aufgehoben, und sie dehnen sich aus und vermischen sich mit der umgebenden Luft. Die Materie, die an den Sonnenflecken austritt, verhält sich ähnlich; sobald sie die Oberfläche erreicht hat, sinkt der Druck, unter dem sie stand, und sie dehnt sich aus. Infolge dieser Ausdehnung kühlt sie sich ab aus Gründen, die wir an anderer Stelle besprochen haben.

Die Sonnenflecken sehen schwarz aus, weil die Materie, aus welcher sie bestehen, kälter ist als die übrige Sonnenoberfläche. In Wirklichkeit sind sie von blendender Helligkeit und erscheinen dunkel nur durch den Gegensatz — weil sie weniger lebhaft leuchten als die heißen Gase um sie herum. Die Materie, die sie auswerfen, ist wahrscheinlich ein Gemisch von vollständigen Atomen und Atomfragmenten, unter denen sich elektrisch geladene Teilchen verschiedener Art befinden mögen. Diese werden herausgeschossen und pflanzen sich in allen Richtungen fort; nach ein oder zwei Tagereisen durch den Raum erreichen einige von ihnen vielleicht die Erde und mögen, in deren Atmosphäre eindringend, die Erscheinung der Aurora Borealis verursachen oder später die Luft ionisieren und so die Schichten bilden,

welche unsere drahtlosen Wellen auf die Erde zurückwerfen und es ermöglichen, entfernte Radiostationen zu hören. Wir haben früher darüber gesprochen, was geschieht (S. 88), wenn diese elektrisch geladenen Teilchen auf die Erde gelangen; jetzt sehen wir sie am Anfang ihrer Reise und wohnen dem ersten Glied in einer langen Kette von Ereignissen bei, deren letztes schließlich unser Leben auf der Erde beeinflußt.

Die Gassäule, die aus einem Sonnenflecken aufsteigt, erhebt sich oft zu einer großen Höhe über der Sonnenoberfläche; die Astronomen nennen sie dann eine Protuberanz. Materie, die bei einer großen Explosion oder einem Vulkanausbruch auf der Erde emporgeschleudert wird, mag sich mit Geschwindigkeiten von Hunderten von Kilometern in der Stunde bewegen, aber die Materie in diesen Protuberanzen wird nicht selten mit Geschwindigkeiten von Hunderttausenden von Kilometern in der Stunde ausgespien. Tafel XXXVI zeigt fünf aufeinanderfolgende Photographien einer solchen Protuberanz, die in Abständen von einigen Minuten aufgenommen sind. Die letzte Aufnahme wurde zwei Stunden nach dem ersten Erscheinen der Protuberanz gemacht, und trotzdem hatte sich die herausgeschleuderte Materie schon zu einer Höhe von 907 000 km über die Sonnenoberfläche erhoben; sie muß sich demnach mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ungefähr 480 000 km pro Stunde bewegt haben.

Die meisten Protuberanzen verhalten sich nicht so einfach wie diese; gewöhnlich sind ihre Formen viel unübersichtlicher und wechseln beständig. Die nächste Serie von Bildern zeigt die Verwandlungen einer weit

komplizierteren Protuberanz in einem Zeitraum von vier aufeinanderfolgenden Tagen (Tafel XXXVII). Während die Sonne sich dreht, entdecken wir nach und nach, daß der Fleck, der zuerst wie eine Rauchwolke aussieht, eine Gaseruption ist, die aus einer Art langen Spalte in der Sonnenoberfläche hervorbricht. Diese Eruption war offenbar eine viel weniger dramatische und weit gemütlichere Angelegenheit als die auf Tafel XXXVI dargestellte.

Die Protuberanzen bestehen aus ganz dünner Materie und sind eigentlich wenig mehr als Bündel erhitzten Gases. Sie sind auch viel kälter als der Hauptkörper der Sonne. Aus diesen beiden Gründen ist ihre Helligkeit in keiner Weise mit der der eigentlichen Sonnenoberfläche zu vergleichen, und so verlieren sie sich für unser Auge meist in dem Glanz der Sonne und können unter gewöhnlichen Bedingungen nicht gesehen werden. Aber wenn der Mond vor der Sonne vorbeigeht und eine totale Sonnenfinsternis verursacht, ist der Hauptteil des Sonnenlichts vollständig abgeblendet, die Sterne leuchten wie bei Nacht, die irdische Landschaft wird dunkler und dunkler und nimmt schließlich aschgraue oder schieferblaue Töne an. Das ist der Augenblick, da die schwachen Lichter rings um die Sonne sichtbar werden. In dem Moment, in welchem das letzte Stückchen Sonne von dem Mond verdeckt wird, flammt das perlfarbene Licht auf, das wir als die Sonnenkorona bezeichnen. Die Sonne ist in einem Abstand von Hunderttausenden von Kilometern von einer feinen Atmosphäre von Molekülen, Atomen und elektrisch geladenen Teilchen umgeben, und die Korona ist ganz einfach diese

Atmosphäre, erleuchtet vom Licht der verdeckten Sonne. Das Licht der Korona ist sogar weniger hell als das der Protuberanzen, so daß man diese nicht selten durch sie hindurchleuchten sehen kann. Die Abbildungen 77 und 78 zeigen zwei Photographien von verschiedener Expositionsdauer, die während der Sonnenfinsternis 1919 aufgenommen sind.

Die Astronomen haben nun Mittel und Wege gefunden, um dies alles und noch viel mehr zu beobachten, ohne daß sie erst auf eine Sonnenfinsternis warten müssen. Wir haben davon gesprochen, daß es möglich ist, die Oberfläche und Atmosphäre der Planeten im einzelnen zu untersuchen, indem man Licht verschiedener Spektralfarben benutzt und jede Farbe ermutigt, ihre eigene Geschichte zu erzählen. Eine ähnliche Methode läßt sich — und zwar nicht nur viel bequemer, sondern auch viel fruchtbarer — auf die Oberfläche der Sonne anwenden. Hier haben wir es nicht mehr mit einer spärlichen Menge reflektierten Lichtes zu tun; die Sonne strahlt ja selbst ein Gemisch von Licht aller Farben in so überwältigender Fülle aus, daß wir leicht eine Anordnung herstellen können, bei welcher sie sich selbst im Licht irgendeiner von uns gewählten Spektralfarbe photographiert. Wir brauchen nur das Sonnenlicht in einem Spektroskop zu zerlegen und dann einzig dem Licht von der uns genehmen Wellenlänge und keinem anderen gestatten, aus dem Spektroskop in unsere Kamera hineinzufallen. Aber zwischen dieser und der zum Studium der Planeten verwandten Methode bestehen doch wesentliche Unterschiede, mit denen wir uns jetzt näher befassen wollen.

Licht und Schall bestehen beide aus Wellen und sind einander daher in vielen Beziehungen ähnlich. Jedes laute Geräusch in der Natur, wie das Rauschen eines Wasserfalls, das Prasseln eines Waldbrandes oder ein Sturm auf See, besteht aus einem Gemisch von Schallwellen aller möglichen Längen. Sehr verschieden von diesen wirren Sturzbächen von Lärm sind die einfacheren und sanfteren Geräusche, die wir als musikalische Töne bezeichnen — Kuhglocken in den Bergen, Kirchenglocken, die Töne eines Klaviers oder einer Geige. Die wirren Sturzbäche von Geräuschen enthalten Wellen aller Längen, der musikalische Ton enthält nur einige wenige; darum klingt er angenehm für unser Ohr.

Dasselbe gilt für das Licht. Das Sonnenlicht enthält, ebenso wie das Geräusch eines Brandes oder Wasserfalls, ein Gemisch von allen möglichen Wellenlängen, aber es gibt andere Arten von Licht, die nur ein paar Wellenlängen enthalten und darin einem musikalischen Akkord gleichen. Passiert ein solcher Lichtstrahl ein Spektroskop, so erhalten wir kein kontinuierliches Band aller Farben wie beim Sonnenlicht, sondern finden, daß die meisten Farben vollkommen fehlen; anstatt eines lückenlosen Farbbandes, das vom Rot zum Violett reicht, erhalten wir ein paar dünne helle Farblinien an verschiedenen Stellen — wir nennen ein solches Spektrum ein Linienspektrum.

Solche Spektra werden gewöhnlich ausgesandt von den Atomen einer chemisch einfachen Substanz, von dem was der Chemiker ein Element nennt. Und nicht nur das, sondern alle Atome eines bestimmten Ele-

mentes, zum Beispiel von Wasserstoff, ergeben einen bestimmten Farbakkord, während die eines anderen Elementes, z. B. Sauerstoff, einen bestimmten anderen Akkord ergeben. Wir kennen Elemente, deren ausgesandtes Licht fast völlig aus einer einzigen Farbe besteht; sie sind natürlich besonders geeignet für elektrische Signale und Leuchtröhren.

Wir wollen uns jetzt vorstellen, wir streuten eine kleine Dosis irgendeines Stoffes, etwa eine Prise gewöhnliches Tafelsalz, in eine heiße Flamme und beobachteten, was mit dem Spektrum der Flamme geschieht. Es werden sofort eine Anzahl neuer Linien auftreten, die selbstverständlich ihren Ursprung in dem Salz haben müssen. Vielleicht gelingt es uns, einige davon wiederzuerkennen. Natrium zum Beispiel besteht aus zwei außerordentlich hellen Linien, die sehr dicht beieinanderliegen. Entdecken wir diese in dem Spektrum unseres Salzes, so wissen wir, daß das Salz Natrium enthält.

Diese Methode, die chemische Zusammensetzung von Stoffen festzustellen, bezeichnet man als Spektralanalyse; sie ist ein außerordentlich empfindliches Mittel für den Nachweis der Gegenwart vieler chemischer Elemente. Man kann auf diese Weise zum Beispiel das Vorhandensein von 0,00001 mg Lithium feststellen. Natürlich ist es nicht unbedingt nötig, daß wir die chemische Substanz selbst in die Flamme werfen. Wenn es uns gelingt, das Licht irgendeiner Flamme, wie weit weg sie auch sein mag, in ihre Farbbestandteile zu zerlegen, so können wir wenigstens einiges über die Zusammensetzung der Flamme aussagen; das Licht, das

sich von ihr zu uns fortpflanzt, bringt uns Kunde über die Stoffe, die darin verbrennen. Nun wohl, das ermöglicht es uns, die Zusammensetzung der Sonne und der Sterne zu erforschen.

Als Newton zuerst das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegte, erhielt er ein Spektrum, von dem er glaubte, daß es eine kontinuierliche Folge aller denkbaren Farben sei. Aber als Fraunhofer 1803 das Experiment wiederholte, fand er zu seiner Überraschung, daß das Spektrum von einer Anzahl dunkler Linien durchschnitten wurde, die er als A, B, C ... K bezeichnete. Das Spektrum war nicht lückenlos, sondern zeigte kurze Unterbrechungen in der Farbfolge, für die es eine einfache Erklärung gibt.

Jedes Atom in der Sonnenatmosphäre ist imstande, einen Lichtakkord auszusenden, der nur aus gewissen besonderen, scharf abgegrenzten Farben besteht, aber es kann das nur, nachdem es Licht von eben diesen Farben absorbiert hat. Im allgemeinen ist es wahrscheinlich, daß die Atome in einem heißen Gas sich in dem sogenannten „angeregten“ Zustand befinden, in welchem sie Vorräte von dem Licht ihrer eigenen besonderen Farbe zum Aussenden zur Verfügung haben. Die Atome einer kalten Substanz dagegen sind in einem „unangeregten“ Zustand, in welchem sie danach streben, Licht dieser Farben aufzunehmen.

Das wollen wir uns gegenwärtighalten, wenn wir jetzt unsere Aufmerksamkeit auf den wirren Lichtkatarakt richten, welcher aus dem heißen Inneren der Sonne zu den verhältnismäßig kühlen Schichten ihrer Oberfläche hinaufströmt. Er enthält alle Farben des

Lichtes, so daß jedes Atom in der verhältnismäßig kühlen Atmosphäre der Sonne in Licht von gerade derjenigen Farbe — unter vielen anderen — gebadet sein muß, die es absorbieren kann und möchte. Das Atom wird etwas von diesem Licht absorbieren und der Hauptstrom unter einem geringen Verlust der betreffenden Farbe seinen Weg fortsetzen. Wenn er Spießruten durch alle die hungrigen Atome gelaufen ist, die ihm in der Sonnenatmosphäre auflauern, und schließlich in den Raum hinaustritt, werden ihm alle Farben fehlen, die mit diesen Atomen zusammenhängen — nämlich die Farben, die sie emittieren, wenn sie heiß, und absorbieren, wenn sie kalt sind.

Aus diesem Grund enthält das Sonnenspektrum notwendig eine Anzahl dunkler Linien und Streifen; sie geben nicht Kunde von heißen Atomen im Sonneninnern, welche Licht aussenden, sondern von kalten Atomen in der Atmosphäre der Sonne, welche Licht absorbieren. Fraunhofer kannte nur erst einige solcher Linien, aber die modernen Astronomen kennen viele tausende und nicht nur im Spektrum der Sonne, sondern auch in dem anderer Sterne. Abbildung 79 auf Tafel XL zeigt ein Stück des Sonnenspektrums, die Abbildungen 80—83 zeigen Spektra anderer Sterne.

Die Lage dieser Linien und Streifen bedeutet für den Astronomen einen ungeheuren Schatz von Kenntnissen, worauf er wieder und wieder zurückgreift, wenn er etwas über die Sterne wissen möchte — wie hell sie sind, wieviel Masse sie haben, wie entfernt sie sind, mit welcher Geschwindigkeit sie sich im Raum bewegen oder um ihre eigene Achse rotieren, und so fort. Für

uns ist hier im Augenblick das wichtigste, daß die Lichtfarben, welche im Spektrum der Sonne und der Sterne fehlen, fast immer mit solchen identifiziert werden können, die von bekannten Stoffen auf der Erde ausgesandt werden. Wenn uns das gelingt, können wir daraus aber entnehmen, daß Atome eben dieser Stoffe auch in der Sonnenatmosphäre wirksam sind, indem sie austretendes Licht absorbieren, so daß es nicht bis zu uns gelangen kann. Wir bedienen uns hier derselben Methode, mittels welcher wir das Vorhandensein von Ozon im oberen Teil der Erdatmosphäre feststellen (S. 81).

Es ist höchst bedeutungsvoll, daß praktisch all die Tausende von Linien im Spektrum der Sonne und der Sterne mit den Linien bekannter irdischer Stoffe zusammengebracht werden können. Denn daraus geht hervor, daß Sonne und Sterne aus denselben Atomarten aufgebaut sind, die wir auf der Erde kennen — Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Eisen, Kupfer, Gold usw. Wenn wir zu der Sonne oder den Sternen reisen, müssen wir erwarten, viel Fremdartiges zu sehen, aber wir dürfen nicht erwarten, irgendwelche neuen Substanzen zu entdecken. Das Universum scheint durchweg aus denselben Baustoffen erbaut zu sein.

Wir wollen jetzt zu unserer Untersuchung der Sonnenoberfläche zurückkehren und die Sonne veranlassen, eine Aufnahme von sich selbst in einer bestimmten Lichtfarbe zu machen, sagen wir derjenigen, die von Wasserstoffatomen ausgesandt wird. Wir werden natürlich kein Bild der ganzen Sonne bekommen und auch nicht von allem Wasserstoff in der Sonne, sondern nur

von dem Teil des Sonnenwasserstoffs, der diese besondere Lichtfarbe emittiert und gleichzeitig nahe genug an der Oberfläche ist, daß sein Licht zu uns gelangen kann. Abbildung 84 zum Beispiel zeigt eine Aufnahme der Sonne in einer gewissen Art von Wasserstofflicht, nämlich demjenigen, dessen Linie Fraunhofer als C bezeichnete, während wir sie heute Hα nennen.

Die Aufnahme wurde gleichzeitig mit der von Abbildung 69 gemacht. Aber auf dieser schreien alle Lichtfarben durcheinander, und die einzige Kunde, die sie uns gemeinsam übermitteln, heißt „Sonnenflecken"; auf Abbildung 84 dagegen erzählt das Wasserstofflicht gelassen seine eigene Geschichte, allein und ungestört von den anderen. Und es ist eine interessante Geschichte. Wir erfahren, daß der Wasserstoff nicht gleichmäßig auf der Sonne verteilt ist, sondern in fleckigen, wolkenartigen Gebilden vorkommt, die aussehen, als trieben sie oder würden herumgestoßen wie die Wolken in der Erdatmosphäre. Doch bezieht sich dieser Vergleich nicht auf die Größe, denn viele solcher Wolken sind weit größer als die ganze Erde. Hier und da machen die wolkigen Gebilde langen Streifen, den sogenannten Fasern, Platz, von denen drei nahe der rechten oberen Ecke des Bildes zu erkennen sind, während sich noch eine andersartige Bildung in der Umgebung der Sonnenflecken unterscheiden läßt. Wir bemerken, daß die Sonnenfleckengruppen ein Gebiet der Sonnenoberfläche in Mitleidenschaft ziehen, das unvergleichlich viel größer ist als die tatsächlichen schwarzen Flecke, die sich einer oberflächlichen Beobachtung darbieten. Abbildung 85 zeigt eine Aufnahme von der Umgebung einer

Sonnenfleckengruppe in dem erwähnten Wasserstofflicht, aus welcher hervorgeht, wie eng die Wolkenformation mit der Lage der dunklen Flecken verbunden ist.

Die Abbildungen 86 und 87 zeigen zwei gleichzeitige Aufnahmen der Sonne in Wasserstofflicht einer besonderen Art (Hδ) und in Kalziumlicht (H_2). Die Bilder sind sehr verschieden, aus dem einfachen Grund, daß das eine ein Bild des Wasserstoffs und das andere ein Bild des Kalziums in der Sonne ist.

Solange die Atome eines Gases in Ruhe und ungestört sind, senden sie keinerlei Licht aus. Wenn wir ein Gas aufleuchten lassen wollen, müssen wir etwas mit ihm vornehmen, genau wie mit einer elektrischen Birne oder einem Hufeisen. Wir können zum Beispiel einen elektrischen Strom durch es hindurchschicken — fast die einzige unter irdischen Verhältnissen verfügbare Methode —, oder wir können es erhitzen; ein festes Hufeisen fängt an zu glühen und zu leuchten, wenn wir es erhitzen, und ebenso verhalten sich die Atome eines Gases. Dies ist auch die Art und Weise, auf welche die Sammlung von Atomen, welche die Sonne bilden, dazu gebracht wird, Licht auszusenden.

Der Schmied erkennt die Temperatur eines heißen Eisenstücks an seiner Farbe. Während er es erhitzt, wechselt es allmählich die Farbe — rotglühend, gelbglühend, weißglühend usw. Gleiche Farbe, gleicher Wärmegrad; und das ist richtig, gleichgültig ob die emittierende Substanz Eisen ist oder etwas anderes.

Dasselbe gilt für ein Gas; wir können seine Temperatur aus der Lichtart erkennen, die es ausschickt. Alle

Atome, welche ihre Spuren auf der photographischen Platte von Abbildung 86 hinterlassen haben, waren auf dieselbe Weise angeregt und hatten daher alle, innerhalb gewisser Grenzen, dieselbe Temperatur. So liefert uns ihr Licht, indem es sich auf der photographischen Platte verzeichnet, ein Bild von denjenigen Teilen der Sonnenatmosphäre, die diese und keine andere Temperatur haben und darum die besondere Art von Licht emittieren, die wir als $H\delta$ bezeichnen. Die Atome, die auf Abbildung 87 dargestellt sind, hatten eine andere Temperatur, nämlich die, bei welcher die als H_2 bezeichnete Lichtart ausgesandt wird. Wir können also sagen, daß die Abbildungen 86 und 87 Atome der Sonne von zwei verschiedenen Temperaturen zeigen.

Da die Sonnenwärme von einem heißen Inneren gegen eine kühlere Oberfläche strömt, sind die heißesten Schichten auch zugleich die tiefsten. Wir nannten unsere Bilder Photographien von verschiedenen Teilen der Sonne, die verschiedene Temperaturen haben, wir hätten sie aber ebensogut als Photographien verschiedener Schichten in verschiedenen Tiefen bezeichnen können. Wenn man auf diese Weise Bilder von den verschiedenen Schichten der Sonne herstellt, zeigt das ausgesandte Licht, daß viele ihrer Atome sich in einem besonderen Zustand befinden, der den Physikern wohlbekannt ist — sie sind, kurz gesagt, zum Teil durch die Hitze zertrümmert. Und je tiefer wir in das Innere der Sonne eindringen, um so trümmerhafter sind die Atome, die wir finden.

Wenn wir festes Eis erhitzen, wird es zu flüssigem Wasser; die Moleküle bewegen sich leichter, da die Fesseln, die sie bis dahin zusammengehalten haben, durch die Hitze zerrissen sind; sobald sie ganz frei aneinander vorbeigleiten können, ist das Eis vollständig zu Wasser geworden. Wenn wir flüssiges Wasser erhitzen, verwandelt es sich in gasförmigen Dampf; die Bindungen sind noch schwächer geworden, so daß die Moleküle sich jetzt ganz unabhängig voneinander bewegen können. Wenn wir den Dampf erhitzen, lösen sich auch noch die Bande, welche die Atome innerhalb der Moleküle zusammenhielten, so daß die Moleküle selbst in Wasserstoff- und Sauerstoffatome zerfallen. Und wenn wir diese Atome noch weiter erhitzen würden, bis sie die Temperatur der Sonnenatmosphäre erreichten, würden wir finden, daß auch die Atome zersprängen — wie sie es tatsächlich in den äußeren Schichten der Sonne tun.

Wir wollen unsere Rakete nun so nahe an die Oberfläche der Sonne heranbringen, daß wir eine Musterprobe aus ihrer Atmosphäre entnehmen können, um sie zu analysieren; wir finden, daß sie aus Atomen besteht, die anfangen zu zerfallen. Dringen wir dann weiter gegen die tieferen Schichten der Sonne vor, so stellt sich heraus, daß mehr und mehr Atome zertrümmert sind, bis schließlich nahe dem Mittelpunkt nicht mehr viel anderes übrig ist als vollständig zertrümmerte Atome. Von einem solchen Zustand der Materie haben wir keinerlei Erfahrung, und wir wissen kaum, sollen wir ihn als fest, flüssig oder gasförmig bezeichnen.

Wir sprachen davon, daß der Druck im Mittelpunkt unserer Erde einige Millionen Atmosphären beträgt; im Mittelpunkt der Sonne mit ihrer weit größeren Masse

muß ein Druck von rund 50 000 Millionen Atmosphären herrschen. Unter einem solchen Druck müssen die Atomtrümmer so eng zusammengepackt sein, daß etwa eine Tonne Materie in einen Fingerhut geht. Das ist aber nur möglich, weil die Atome zertrümmert sind.

Mit Materie in diesem Zustand werden wir niemals in unseren Laboratorien experimentieren können — es wäre unser Tod, wenn wir es versuchten. Denn eine rohe Rechnung zeigt, daß die Temperatur im Mittelpunkt der Sonne einige 20 bis 30 Millionen Grad betragen muß. Und selbst ein Stecknadelkopf Materie würde bei dieser Temperatur so viel Energie in den Raum hinausstrahlen, daß wir eine Maschine von 3000 Billionen Pferdekräften brauchten, um den Abgang auszugleichen und den Stecknadelkopf Materie auf seiner Temperatur zu erhalten. Er würde seine Strahlung in Form eines entsetzlichen Sturmwinds aussenden, dem nichts standhalten könnte. Der Strahlungsstrom würde nahe bei dem Stecknadelkopf einen Druck von Millionen von Tonnen pro Quadratzentimenter erzeugen. Dieser Druck spielt eine Rolle dabei, daß die Sonne nicht in sich zusammensinkt, und er spielt eine noch wichtigere Rolle in den schwereren unter den Sternen, die er aufbläht, bis sie so dünn sind wie ungeheure Blasen. Noch hundert Meter entfernt von unserem Stecknadelkopf wäre die Strahlung so stark, daß sie alle Befestigungen, die je von Menschen gebaut sind, fortblasen würde, und ein Mensch, der es wagte, sich ihm bis auf tausend Kilometer zu nähern, wäre im Handumdrehen verkohlt.

VII. Kapitel

Die Sterne

Wir wissen jetzt alle, daß unsere Sonne ein sehr gewöhnlicher Stern ist, aber es dauerte eine ganze Weile, bis die Menschen es entdeckten. Das ist im Grund nicht überraschend, denn für uns sieht sie gewiß nicht wie ein gewöhnlicher Stern aus. Das kommt natürlich daher, daß sie uns ungeheuer viel näher ist als irgendein anderer Stern.

Wir sahen, daß die Alten glaubten, die Erde sei der feste Mittelpunkt des Universums, um den sich alles andere bewegte. Die Sterne bildeten nur einen Hintergrund von Lichtern, in bezug auf den sie die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten festlegen konnten. Nach ihrer Vorstellung waren die Sterne an der Innenseite einer Hohlkugel befestigt, die sich über der Erde drehte wie die Kuppel eines Teleskops über seinem Boden oder wie einer seine Mütze auf seinem eigenen Kopf drehen mag. Und wenn auch ein paar Philosophen in Griechenland Gründe dafür angaben, daß die Erde sich um die Sonne drehe, so fehlten ihnen doch die Mittel, ihre Meinungen und Argumente einem weiteren Kreis von Menschen zugänglich zu machen, so daß sie in Vergessenheit gerieten, als die Welt allmählich in der geistigen Befangenheit des

Mittelalters versank. Dann stellte 1543 Kopernikus Theorien und Begründungen auf, die den vor achtzehnhundert Jahren von Aristarch von Samos ausgesprochenen merkwürdig glichen, wenn wir auch nicht wissen, wieweit er von seinem griechischen Vorgänger abhängig war.

Kopernikus behauptete, kurz gesagt, daß die Sonne und nicht die Erde den Mittelpunkt des Sonnensystems bilde, daß die Erde nur ein Planet sei und daß sie sich, wie alle anderen Planeten, um die Sonne drehe.

Gegen diese achtzehnhundertjährige Theorie erhob der ausgezeichnete dänische Astronom Tycho Brahe, und mit ihm einige andere, einen Einwand, der ebenfalls achtzehnhundert Jahre alt war; es war Archimedes, der schon einmal genau das gleiche gegen die gleichen Ansichten des Aristarch von Samos vorgebracht hatte. Der Einwand bestand in Kürze darin, daß die scheinbare Ordnung der Sterne beständig wechseln müsse, wenn sich die Erde im Raum um die Sonne drehe. Wenn ich im Garten herumspaziere, ändert sich immerzu die Anordnung der Bäume vor meinen Augen; einer scheint hinter einen anderen zu treten, ein dritter einen Schritt vorwärts zu tun usw. Ein Käfer jedoch, der auf einer Rosenknospe herumkrabbelt, wird keine solchen Veränderungen in der Anordnung der Bäume wahrnehmen; seine Rosenknospe ist zu klein dafür. Die Gegner des Kopernikus schlossen, da in der Anordnung der Sterne keine solchen Veränderungen beobachtet worden seien, müsse die Erde im Raum stillstehen. Sie wußten nicht, daß in dem himmlischen Garten die Erdbahn und sogar das ganze Sonnensystem

noch geringfügigere Objekte sind als die kleinste Rosenknospe. Die ganze Bahn der Erde um die Sonne verhält sich — das hatte Aristarch schon achtzehnhundert Jahre vor Kopernikus gesagt — zu dem Universum wie der Mittelpunkt einer Kugel zu ihrer Oberfläche.

Trotzdem findet man, wenn man die Stellungen der Sterne mit Hilfe eines starken Fernrohrs mißt, daß ihre scheinbare Anordnung beständig wechselt. Die Veränderungen sind von zwei verschiedenen Arten. Da die Sonne unablässig ihren Weg durch die Sterne verfolgt und uns mit sich reißt, verändert sich die Sternlandschaft auf dieselbe Weise wie eine irdische, wenn wir durch einen Wald fahren. Aber daneben bewirkt die Bewegung der Erde um die Sonne eine Veränderung anderer Art. Der Julihimmel sieht anders aus als der Januarhimmel, weil wir vom Januar bis zum Juli die 297 Millionen Kilometer um die Sonne bis an das entgegengesetzte Ende der Erdbahn zurückgelegt haben. Im nächsten Januar sieht alles wieder ebenso aus wie im vergangenen, weil die Erde ihre Bahn vollendet hat und wir in unsere ursprüngliche Stellung relativ zur Sonne zurückgekehrt sind.

Solange wir in irdischen Verhältnissen denken, erscheint diese Bewegung der Erde um 297 Millionen Kilometer als eine phantastische Reise; gemessen mit dem astronomischen Maßstab ist sie so winzig, daß die Astronomen lange nicht imstande waren, die kleinen dadurch verursachten Veränderungen in der Stellung der Gestirne nachzuweisen. Erst 1838 gelang es, und damit wurde es möglich, die Entfernungen der Sterne zu messen.

Die exakten modernen Messungen haben ergeben, daß die nächsten Sterne fast genau eine Million mal entfernter sind als die nächsten Planeten. Wir haben schon gesehen, wie dünn die Planeten über das Sonnensystem verteilt sind; nun zeigt es sich, daß der Raum sogar noch leerer von Sternen ist als das Sonnensystem von Planeten. Wenn wir fünf Früchte auf die fünf Kontinente der Erde legen — einen Apfel auf Europa, eine Birne auf Asien, eine Kirsche auf Amerika usw. —, so liefert uns das ein Modell, das im richtigen Maßstab das Verhältnis der Größe der Sterne zu ihrer gegenseitigen Entfernung angibt. Jetzt verstehen wir, warum die Sterne nur als Lichtpünktchen erscheinen, und es ist auch klar, daß ihre Planeten, gesetzt sie hätten welche wie unsere eigene Sonne, viel zu schwach und der Zentralsonne zu nahe wären, als daß wir sie als getrennte Gegenstände wahrnehmen könnten.

Wenn wir sechs Wespen nehmen und sie blindlings in einem Käfig von 1600 km Länge, Breite und Höhe herumfliegen lassen, so haben wir damit abermals ein Modell für die Entfernung der Sterne. Wir können es auch zur Darstellung der Geschwindigkeit ihrer Bewegung benutzen, wenn wir nämlich den Flug unserer Wespen verlangsamen, bis sie nur noch mit dem hundertsten Teil des Schneckentempos von der Stelle rücken.

Wir können sicher sein, daß die Wespen, wenn sie sich mit solchen Geschwindigkeiten in ihrem ungeheuren Käfig bewegen, nicht gar zu häufig aneinanderprallen oder auch nur nahe aneinander vorüberfliegen werden. Trotzdem scheint es notwendig zu sein, daß dies den Sternen passiert, wenn — durch den Vorgang,

den wir früher beschrieben haben (S. 187) — Planeten wie unsere Erde entstehen sollen. Aus diesem Grund ist die Geburt von Planeten ein seltenes Ereignis, und da das Universum nicht von Ewigkeit an existiert hat, sind somit auch die Planeten selbst eine sehr seltene Erscheinung. Früher stellte man sich vor, daß jeder Stern einem Gefolge von Planeten Licht und Leben spendete, aber jetzt sieht es so aus, als seien die Planeten seltene Ausnahmen; nach der günstigsten Schätzung mag je ein Stern von hunderttausend für eine Planetenfamilie zu sorgen haben.

Wir sahen schon, was für Unterschiede zwischen den scheinbaren Helligkeiten der Sterne bestehen. Das ist durch zwei Ursachen bedingt: einmal sind die Sterne an und für sich verschieden hell, und ferner sind sie verschieden weit von uns entfernt. Ein Stern kann hell aussehen, weil er uns nahe ist, wie in dem auffälligen Beispiel unserer Sonne, oder weil er an sich ein sehr heller Himmelskörper ist, oder natürlich, weil beides der Fall ist.

Sobald wir die Entfernung eines Sternes kennen, können wir sagen, wieweit seine scheinbare Helligkeit durch seine Entfernung und wieweit durch seine eigene Beschaffenheit bedingt ist. Dadurch ist es möglich, die absolute oder Eigenhelligkeit der verschiedenen Sterne miteinander zu vergleichen.

Man bedient sich dazu der folgenden Methode. Nach einem wohlbekannten physikalischen Gesetz nimmt das Licht ab im umgekehrten Verhältnis zu dem Quadrat der Entfernung; um ein einfaches Beispiel zu nehmen, wenn ich eine Straßenlaterne erst von einem bestimmten Punkt und dann aus der doppelten Entfer-

nung betrachte, so sieht sie das zweitemal nur ein Viertel so hell aus. Ebenso würde die Sonne, wenn sie eine Million millionenmal weiter von uns entfernt wäre, eine Million mal dunkler aussehen als jetzt. In ihrer jetzigen Entfernung hat die Sonne eine Lichtstärke von 12 Billionen der Einheiten, die wir auf S. 117 einführten, so daß sie, wenn sie uns eine Million mal ferner rückte, nur noch mit einer Helligkeit von 12 dieser Einheiten leuchten würde; wir würden sie noch sehen können, aber nur als einen ganz schwachen Stern.

Eine ganze Anzahl der Sterne am Himmel leuchten mit mehr als 12 dieser Helligkeitseinheiten, und von diesen allen mit Ausnahme dreier — des Sirius, α-Kentauri und Prokyon — wissen wir, daß sie über eine Million mal entfernter sind als die Sonne. Alle diese Sterne müssen also an sich heller sein als die Sonne. Auch Sirius, α-Kentauri und Prokyon haben eine größere Eigenhelligkeit als die Sonne, und dasselbe gilt für die meisten Sterne, die wir mit bloßem Auge sehen. Grob gesagt sind alle Sterne, die am Himmel hell aussehen, an und für sich heller als die Sonne.

Sirius, den wir als den hellsten Stern am ganzen Himmel kennen, ist 51 Millionen Millionen Kilometer, d. h. etwa 550 000mal so weit wie die Sonne von uns entfernt. Wenn die Sonne dort wäre, wo der Sirius ist, hätte sie nur eine scheinbare Lichtstärke von 40 Einheiten, während der Sirius 1080 hat; er ist also ein sehr heller Stern, 27mal heller als die Sonne. Sein heller Glanz rührt von einer günstigen Vereinigung der beiden Faktoren her, welche die scheinbare Lichtstärke bestimmen. Er ist an und für sich sehr hell und zugleich uns sehr

nahe; nur einer der 5000 Sterne, die wir ohne Fernrohr sehen können, ist näher als er.

Viele der nächsten Sterne sind von so geringer eigener Lichtstärke, daß sie trotz ihrer Nähe nicht mit bloßem Auge sichtbar sind und ein recht starkes Teleskop erfordern. Der nächste aller bekannten Sterne, Proxima, ist mit einer Helligkeit von nur $^1/_{60}$ unserer Einheit so lichtschwach, daß er erst ganz kürzlich entdeckt worden ist. Seine eigene Lichtstärke ist so schwach, daß er nur etwa den 20 000sten Teil des Sonnenlichtes und sogar noch weniger Wärme ausstrahlt. Wenn er den Platz unserer Sonne einnähme, würde die Erde kälter werden, als jetzt Pluto ist, und wir wären alle in kürzester Zeit steinhart gefroren.

Am anderen Ende der Skala stoßen wir auf zahllose Sterne, die an sich heller sind als der Sirius, aber am Himmel weniger hell aussehen, weil sie uns ferner stehen. Der hellste von allen, S-Doradus, sendet mindestens 300 000mal mehr Strahlung aus als die Sonne, so daß wir, wenn er plötzlich die Sonne verträte, im Bruchteil einer Minute geröstet und nach ein paar Stunden ausnahmslos — Meer, Fels, Erde und alles — in Dampf verwandelt wären.

Aber es stellt sich heraus, daß die meisten Sterne lichtschwächer sind als die Sonne. Von den 30 Sternen, die ihr im Raum zunächst stehen, sind nur 3 heller als sie und die übrigen 27 bei weitem dunkler. Doch ist auch damit noch nicht genug gesagt, denn wir müssen hinzufügen, daß wir einen Teil des Himmels bewohnen, wo die Sternhelligkeiten merklich über dem Durchschnitt liegen.

Wir sahen, daß die scheinbare Helligkeit eines Sternes von zwei Faktoren abhängt, seiner eigenen Lichtstärke und seiner Entfernung. Der erste der beiden Faktoren, die Eigenhelligkeit des Sterns, hängt seinerseits wiederum von zwei Faktoren ab, der Größe des Sterns und der Strahlungsmenge, welche jeder Quadratzentimeter seiner Oberfläche aussendet. Wir sagten z. B., daß der Sirius 27mal heller ist als die Sonne; aber damit ist nicht gesagt, ob der Sirius eine 27mal größere Oberfläche hat als die Sonne, oder ob er von derselben Größe ist wie sie, aber 27mal mehr Strahlung pro Quadratzentimeter emittiert, oder welche andere Verbindung von Größe und ausgesandter Strahlung seine Gesamtleistung zu dem macht, was sie ist.

Zur Beantwortung dieser und aller ähnlichen Fragen liefert das Spektrum des Sterns uns die Mittel; denn aus ihm ersehen wir, wieviel Strahlung der Stern von jedem Quadratzentimeter seiner Oberfläche aussendet, und daraus können wir auf seine tatsächliche Größe schließen.

Wir sahen bereits, daß die Beschaffenheit des Spektrums eines Sterns von der Temperatur seiner Oberfläche abhängt. Verschiedene Arten der Spektra entsprechen verschiedenen Temperaturen, so daß wir, abgesehen von geringfügigen Unterschieden im einzelnen, alle Spektra in einer einzigen lückenlosen Reihe anordnen können. Wenn wir diese Reihe von einem Ende zum anderen durchlaufen, durchlaufen wir eine stetige Reihe von Temperaturen von Sternoberflächen. Könnten wir die Oberfläche eines einzelnen Sterns allmählich erhitzen, so würde sein Spektrum die ganze Folge nacheinander durchlaufen. Manchmal führt die Natur dies Experiment tatsächlich für uns aus; gewisse Sterne, die sogenannten Veränderlichen, variieren spontan auf diese Weise, und wir brauchen den Vorgang nur zu beobachten, um uns die stetige Folge der Spektren von der Natur in ihrem eigenen Laboratorium vorführen zu lassen.

Die Strahlungsmenge, welche von irgendeiner Oberfläche ausgesandt wird, hängt auch von der Temperatur der Oberfläche ab; in dem Maße, wie eine Substanz sich erwärmt, wächst die Energie, die sie ausstrahlt. Ein richtiges heißes Kohlenfeuer, etwa das einer Schnellzugslokomotive, ergibt ungefähr $^1/_{25}$ Pferdekraft pro Quadratzentimeter. Der viel heißere Kohlenfaden in einer elektrischen Bogenlampe mag es auf rund eine Pferdestärke pro Quadratzentimeter bringen.

Wenn zwei Sterne dieselben oder sehr ähnliche Spektra haben, wie z. B. Sirius und Vega (Tafel XL), so wissen wir, ihre Oberflächen haben die gleichen Temperaturen und strahlen daher den gleichen Energiebetrag pro Quadratzentimeter aus. Jeder Unterschied der Eigenhelligkeit zweier solcher Sterne kann also nur von einem Unterschied ihrer Größe herrühren. Andererseits müssen die Oberflächen zweier Sterne mit verschiedenen Spektren verschiedene Temperaturen haben und also verschieden große Energiemengen pro Quadratzentimeter emittieren. Wir können die Spektra der vorhin erwähnten Folge verschiedenen Temperaturen und verschiedenen Emissionen von Energie pro Quadratzentimeter zuordnen.

Die Spektra, die an dem einen Ende dieser Folge

stehen, deuten auf Temperaturen von nicht mehr als ungefähr 1400° hin, bei welchen jeder Quadratzentimeter der Sternoberfläche nur eine Energie von rund $^1/_{25}$ Pferdestärke ausstrahlt — etwa ebensoviel wie ein richtig heißes Kohlenfeuer. Wir sahen, daß die scheinbare Farbe einer Eisenmasse, die langsam erhitzt wird, das Spektrum in der Richtung von Rot zu Violett durchläuft. Dasselbe gilt für die Sterne, und diese kältesten Sterne haben so niedrige Temperaturen, daß ihre Strahlung fast völlig am roten Ende des Spektrums liegt; sie sind nur rotglühend. Viele von ihnen erscheinen dem Auge rot oder rötlich und werden darum auch als rote Sterne bezeichnet.

Ungefähr halbwegs in der Reihe gelangen wir zu Spektren wie dem der Sonne. Sie weisen auf eine Temperatur von etwa 5600° hin, bei welcher jeder Quadratzentimeter Oberfläche eine Energie von 8 Pferdekräften ausstrahlt. Die Genauigkeit dieser Schätzung können wir auf folgende Weise nachprüfen.

Wenn wir messen, wieviel Sonnenschein auf einen Quadratzentimeter der Erdoberfläche fällt, können wir zunächst berechnen, wieviel die ganze Erde empfängt, und dann, wieviel von der ganzen Sonne herkommt. Wenn wir diese letzte Zahl dividieren durch die Anzahl der Quadratzentimeter auf der ganzen Sonnenoberfläche, finden wir, wieviel Strahlung von jedem Quadratzentimeter der Sonnenoberfläche herrührt. Und auf diese Weise ergibt sich, daß die Energie des Sonnenscheins, der von jedem Quadratzentimeter der Sonnenoberfläche ausgestrahlt wird, gerade etwa der von acht Pferdekräften gleichkommt — genug, um damit ein

kleines Auto Tag und Nacht Jahrmillionen hindurch zu treiben, wenn auch natürlich nicht in alle Ewigkeit, denn selbst die ungeheuren Energievorräte der Sonne müssen irgendwann einmal aufgebraucht sein. Der Boden, auf dem eine einzige Lokomotive stehen kann, würde hinreichen, um alle Eisenbahnen der Britischen Inseln mit Energie zu versorgen.

Die Spektren am äußersten Ende der Spektralreihe bedeuten Temperaturen von vielleicht 60 000 oder 70 000°, so daß jeder Quadratzentimeter der Oberfläche der betreffenden Sterne zwischen 80 000 und 160 000 Pferdestärken Energie ausstrahlt und so viel Boden auf ihnen, wie wir mit einer Postmarke bedecken könnten, genug Energie für den Betrieb aller Schiffe auf dem Atlantischen Ozean liefern würde. Der Hauptteil der Strahlung dieser Sterne ist unsichtbar, da er weit jenseits des violetten Endes des Spektrums liegt. Die sichtbare Strahlung ist zur Hauptsache im violetten Ende konzentriert, so daß man die Sterne gewöhnlich als blaue Sterne bezeichnet.

Auf diese Weise lehrt uns das Spektrum eines Sterns, wieviel Energie jeder Quadratzentimeter seiner Oberfläche ausstrahlt. Die Eigenhelligkeit eines Sterns zu kennen, bedeutet offenbar dasselbe wie den totalen Energiebetrag zu kennen, den seine ganze Oberfläche aussendet. Aus einer einfachen Division ergibt sich dann, wieviel Quadratzentimeter Oberfläche er hat, woraus mit Leichtigkeit Durchmesser und Größe des Sterns zu berechnen sind.

Die Ergebnisse solcher Berechnungen sind außerordentlich interessant, und das um so mehr, weil sie

zeigen, daß die Größe eines Sternes kein Zufallsprodukt ist, sondern eng mit seinem physikalischen Zustand zusammenhängt. Wir wollen diese Beziehung erörtern, indem wir uns allmählich von den größten zu den kleinsten Sternen hinunterarbeiten.

Die größten Sterne sind ausnahmslos rot und kalt. Sie strahlen nur ungefähr $^1/_{25}$ Pferdekraft Energie pro Quadratzentimeter aus und brauchen daher viele, viele Quadratzentimeter, um ihre Wärme loszuwerden. Sie sind die durch den Strahlungsdruck zu ungeheuren Blasen aufgeblähten Riesensterne, von denen hier schon die Rede war (S. 228). Wir malten uns früher die katastrophalen Folgen aus, die sich ergeben würden, wenn S-Doradus oder Proxima den Platz unserer Sonne einnähmen. Täte es einer dieser roten Giganten, so wäre das Resultat noch unheimlicher, wir würden uns selbst in ihrem Innern wiederfinden; diese Sterne sind größer als die ganze Erdbahn. Der größte bis jetzt bekannte (Antares) hat einen Durchmesser, der 640 Millionen Kilometer oder das 450fache des Sonnendurchmessers mißt. Wir könnten bequem 60 Millionen Sonnen in ihn hineinpacken, und es wäre noch Platz übrig. Unsere Rakete, die im Mittel über 8000 km in der Stunde zurücklegt, braucht zwei Tage, um zum Mond zu gelangen. Wenn wir mit derselben Geschwindigkeit die Sonne zu passieren versuchen, dauert es eine volle Woche, aber wenn wir durch diesen gewaltigen Stern hindurchwollen, müssen wir uns auf neun Jahre gefaßt machen. Unter so bewandten Umständen werden wir es nicht übertrieben finden, daß die Astronomen diese Sterne als Giganten bezeichnen.

Wir wollen uns jetzt vorstellen, wir hätten alle Sterne

gemessen und sie nach ihrer Größe in einer Reihe angeordnet. Dann werden wir finden, daß wir sie damit zugleich auch recht gut nach der Farbe geordnet haben. Die sehr großen Sterne sind, wie wir gerade gesehen haben, alle rot; gehen wir von ihnen zu kleineren Sternen über, so wird die Farbe weniger rot. Auf diese Weise geht es weiter, bis wir zu Sternen kommen, die wesentlich kleiner sind, nur etwa vom zehn- oder zwanzigfachen Durchmesser der Sonne. Ihre Oberfläche ist ungefähr tausendmal kleiner als die der roten Giganten, so daß sie, wenn sie dieselbe Strahlungsmenge abgeben sollen, tausendmal mehr Energie von jedem Quadratzentimeter aussenden müssen. Das macht es verständlich, daß diese Sterne außerordentlich hohe Temperaturen haben; sie sind die sehr heißen blauen Sterne, von denen wir schon gesprochen haben.

Damit scheint die ganze Spannweite der für Sterne in Frage kommenden Farben und also auch Spektren aufgebraucht zu sein, obgleich wir erst ein kleines Stück in der Reihe möglicher Größen zurückgelegt haben, denn die meisten Sterne sind viel kleiner als die eben erwähnten blauen Sterne mit ihren Durchmessern vom 10- oder 20fachen des Sonnendurchmessers. Tatsache ist denn auch, daß sich, wenn wir zu diesen noch kleineren Sternen übergehen, die Folge der Farben und Spektren nur wiederholt. Anstatt noch heißer und blauer zu werden, werden die kleineren Sterne wieder kälter und roter, so daß sie nicht nur weniger Quadratzentimeter Oberfläche haben, sondern auch weniger Strahlung von jedem Quadratzentimeter aussenden. Es ist klar, daß sie viel schwächere Sterne sind als die roten

Giganten, von denen wir ausgingen. Am Ende kommen wir zu Sternen, die genau so rot und kalt sind wie die Riesensterne, aber viel geringer an Größe. Man bezeichnet sie als „rote Zwerge“ — und mit Recht, denn viele von ihnen sind weit kleiner als unsere Sonne und messen nur etwa $^1/_{1000}$ des Durchmessers eines roten Giganten. Wenn wir einen solchen roten Zwerg durch einen Punkt auf dieser Buchseite repräsentieren, müßten wir die roten Giganten mit einem Wagenrad vergleichen.

So haben wir bis jetzt drei Haupttypen von Sternen gefunden:

Sehr groß (Giganten) — rot und kalt.
Von mittlerer Größe — blau und heiß.
Sehr klein (Zwerge) — wieder rot und kalt.

Aber damit ist die Grenze der Kleinheit noch nicht erreicht; wir wissen, daß es noch kleinere Sterne gibt als die roten Zwerge. Die kleinsten roten Zwerge sind noch von der Größe des Jupiter oder Saturn — nur $^1/_{1000}$ der Sonne, aber noch tausendmal größer als die Erde. Die kleinsten von allen bekannten Sternen haben nur die Größe der Erde. Wir nennen sie die „weißen Zwerge“, weil sie meist von weißer Farbe sind, mit Spektren, die Temperaturen von 10 000^0 und mehr entsprechen. Diese hohen Temperaturen bewirken, daß jeder Zentimeter ihrer Oberfläche intensiv strahlt, aber ihre Oberflächen sind so klein, daß ihre Gesamtstrahlung trotzdem ganz gering ist; sie sind so schwach, daß bis jetzt nur einige wenige entdeckt sind.

Wir sahen, daß die Sonne Licht von allen Wellenlängen ausschickt, aber nur vier Lichtoktaven in großen

Beträgen, und nur eine erreicht uns in beträchtlichen Mengen. Wir sahen auch, daß eine ganze Anzahl Sterne viel kälter sind als die Sonne. Wenn wir sagen, die Sonne sei weißglühend, so sind diese Sterne nur rotglühend, und die von ihnen emittierte Strahlung liegt eine, ja zwei Oktaven tiefer als die der Sonne. Emittierte unsere Sonne eine solche Strahlung, so dürfen wir wohl voraussetzen, daß unsere Augen sich ihr angepaßt hätten und unser sichtbares Spektrum eine oder zwei Oktaven tiefer liegen würde. Wir könnten dann unser jetziges Grün, Blau usw. überhaupt nicht sehen, dafür aber Farben, für die unsere Sprache keine Namen hat, weil unsere Augen sie nicht kennen. Das Gras, das jetzt alle Farben außer Grün absorbiert, würde weiß aussehen und der Himmel schwarz. Die Landschaft im allgemeinen würde der infraroten Photographie auf Abbildung 37 gleichen (Tafel XVI), und die infraroten Bilder auf Tafel XLIV lassen vermuten, daß manche der geringfügigeren Einzelheiten des Lebens sehr verschieden von dem wären, was sie jetzt sind.

Diese roten Sterne, die kälter sind als die Sonne, senden Licht aus, das auf der infraroten Seite des Sonnenspektrums liegt. Sterne, die heißer sind als die Sonne, ergeben natürlich Spektren auf der anderen, der ultravioletten, Seite. So liegt z. B. das Spektrum des Sirius, dessen Temperatur, grob gesagt, das Doppelte der Sonne beträgt, etwa eine Oktave höher als das der Sonne. Das mag nicht so aussehen auf einer gewöhnlichen Photographie, wie wir sie auf Tafel XXXIX gezeigt haben, denn solche Photographien geben immer nur das letzte Ende gegen das Rot wieder — der Haupt-

teil des Lichts ist ultraviolett und wird daher von der Ozonschicht unserer Atmosphäre absorbiert. Wenn der Sirius Planeten besäße, ist anzunehmen, daß die Augen ihrer Bewohner sich an ultraviolette Farben angepaßt hätten, für welche wir wiederum keine Namen haben, da wir sie nicht sehen können. Das Leben wäre für solche Leute überhaupt recht verschieden von unserem. Um nur ein ganz handgreifliches Beispiel zu nehmen: Glas ist undurchsichtig für ultraviolettes Licht, sie können es also nicht als Fenster in ihren Häusern verwenden, aber für die Wände ist es brauchbar — abgesehen von den Gefahren, von denen das Sprichwort weiß. Luft ist wegen der Zerstreuung für ultraviolettes Licht nahezu undurchsichtig und jedenfalls ganz undurchsichtig, wenn sie viel Ozon enthält, so daß für die Siriusmenschen, wenn sie überhaupt eine der unsrigen gleiche Atmosphäre haben, der Himmel beständig schwarz aussieht.

Die Spektren der heißesten bekannten Sterne liegen drei oder dreieinhalb Oktaven höher als das der Sonne. Wenn wir Licht von noch kürzeren Wellenlängen finden wollen, müssen wir in das Innere der Sterne eindringen. Ein paar tausend Kilometer unter der Oberfläche der Sonne werden wir auf Strahlung stoßen, die ein Spektrum wie das des Sirius aufweist; noch ein wenig tiefer wird das Spektrum eine weitere Oktave gestiegen sein usw. Im Mittelpunkt der Sonne und wahrscheinlich auch der meisten Sterne liegt es rund 13 Oktaven höher; die Strahlung, die dort herrscht, ist von der Art der sogenannten Röntgenstrahlen. Da die meisten Substanzen hierfür durchlässig sind, würden, wenn wir dort lebten,

Muscheln, Blumen usw. uns einen Anblick bieten wie auf den Abbildungen von Tafel XLV.

Bis jetzt haben wir uns nur mit denjenigen Eigenschaften eines Sterns beschäftigt, die man ihm ansehen kann, wie Temperatur und Größe. Nun wollen wir zu etwas Verborgenerem übergehen, zu der Menge an Substanz, die ein Stern enthält, seiner sogenannten Masse. Wenn wir feststellen wollen, wieviel Substanz ein Gegenstand auf der Erde enthält, pflegen wir ihn zu wiegen, d. h. wir messen die Gravitationsanziehung zwischen ihm und der Erde. Wir können die Sterne auf ganz ähnliche Art wiegen und so herausfinden, wieviel Substanz sie enthalten.

Die meisten Sterne gehen einsam ihres Wegs durch den Raum, aber gelegentlich reisen sie zu zweit und bilden die sogenannten binären Systeme oder Doppelsterne, in welchen jeder Stern den anderen vermöge seiner Gravitationsanziehung festhält, so daß sie sich zusammen durch den Raum bewegen und dabei einer um den anderen kreisen. Daß sie beieinanderbleiben, hat genau denselben Grund wie bei Sonne und Erde; die Gravitation ist so stark, daß sie nicht auseinander können — keiner von ihnen hat genug Geschwindigkeit, um sich ganz von dem anderen zu lösen.

Später werden wir sehen, daß solche Doppelsterne auch an und für sich oft sehr interessant sind, aber sie sind es besonders, weil sie uns eine Möglichkeit geben, die Sterne zu wiegen.

Jeder der beiden Doppelsterne umkreist den anderen etwa wie die Erde die Sonne, nur mit einem charakteristischen Unterschied. Die Masse der Erde ist soviel

kleiner als die der Sonne (1 : 332 000), daß die Bewegung der Sonne kaum beeinflußt wird durch die schwache Gravitationsanziehung der Erde. In einem richtigen Doppelstern aber sind die Massen der beiden Komponenten nicht so verschieden, und sie sind infolgedessen gleichwertigere Partner in bezug auf die Gravitationsanziehung; keiner der beiden Sterne zwingt den anderen, ihn zu umkreisen, sondern das Paar kreist um einen Punkt irgendwo zwischen beiden. Wenn wir feststellen, wie stark jeder Stern den anderen anzieht, können wir das Verhältnis ihrer Gewichte ermitteln, und wenn wir dann auch noch die Dimensionen ihrer Bahn messen können, sind wir imstande, das tatsächliche Gewicht beider Sterne zu berechnen.

Manchmal sind die beiden Sterne, die einen Doppelstern bilden, einander an Größe, Farbe und Helligkeit ziemlich ähnlich, und wir können mit Recht sagen, daß sie gut zusammenpassen. Solche harmonischen Paare finden sich besonders häufig unter den hellsten und heißesten Sternen, die überhaupt vorzugsweise als Komponenten von Doppelsternen vorkommen. Dabei sind die beiden Komponenten einander oft außerordentlich nahe; ja, sie können sich sogar berühren oder in extremen Fällen überdecken. Doppelsterne solcher Art haben wohl ursprünglich eine einzige Masse gebildet, die auseinandergeflogen ist, weil sie sich rascher drehte, als für die Sicherheit gut war — wie ein Schwungrad zerspringt bei zu hoher Umdrehungsgeschwindigkeit.

Aber es gibt auch Fälle, in denen die beiden Sterne außerordentlich ungleich gepaart sind. Ein gutes Beispiel hierfür liefert der Sirius, der einen Doppelstern mit einem weißen Zwerg bildet. Der Sirius, der so hell am Himmel leuchtet, hat den 1½fachen Durchmesser der Sonne, während sein Gefährte nur den 30sten Teil des Sonnendurchmessers hat. Noch grotesker ist die Ungleichheit im Fall des roten Giganten *o*-Ceti. Sein Durchmesser ist ungefähr 400mal größer als der der Sonne, und er bildet einen Doppelstern mit einem weißen Zwerg, dessen Durchmesser unbekannt ist, aber nicht viel mehr betragen kann als den 10 000sten Teil des Hauptsterns. Wenn wir uns den letzteren als ein Wagenrad vorstellen, ist sein Begleiter nicht größer als ein Sandkorn — vielleicht sogar nur ein Stäubchen.

Aber selbst wenn die Größen so gewaltige Unterschiede aufweisen, sind die Massen oft ziemlich gleich; der Riesenstern wird höchstens das Fünf- oder Zehnfache der Masse seines winzigen Begleiters haben. Im allgemeinen ist es wahrscheinlich, daß selbst die weißen Zwerge Massen von derselben Größenordnung haben wie die gewöhnlichen Sterne. Sie ähneln der Erde an Größe, aber der Sonne an Masse. Das heißt natürlich, daß die Substanz in einem weißen Zwerg ungeheuer viel dichter gepackt sein muß als in der Sonne. Eine Tonne auf der Sonne erfüllt durchschnittlich etwa einen Kubikmeter, aber eine Tonne auf einem gewöhnlichen weißen Zwerg hat in einem Fingerhut Platz. Im Gegensatz dazu würde eine Tonne auf dem Riesenstern *o*-Ceti im Durchschnitt etwa das Innere des Hamburger Hauptbahnhofes erfüllen.

Unter den Bedingungen, die wir auf der Erde vorfinden, ist es ganz unmöglich, die Materie so eng zu-

sammenzupressen, wie sie auf den weißen Zwergen vorkommt. Das Geheimnis dieser Sterne ist, daß in ihnen die Atome in ihre einzelnen Aufbauelemente zertrümmert sind. Als wir in das Sonneninnere vordrangen, fanden wir, daß es heißer und heißer wurde und die Atome, je tiefer wir kamen, um so mehr zertrümmert waren (S. 208). Im Innern der weißen Zwerge ist die Temperatur noch unvergleichlich viel höher als selbst im Mittelpunkt der Sonne, so daß die Atome vollständig zertrümmert sind und auf einen sehr kleinen Raum zusammengepackt werden können.

Die Mehrzahl der Doppelsterne jedoch gehören nicht zu den extravaganten Typen, die wir bis jetzt behandelt haben, sondern bestehen aus zwei Komponenten, die für gewöhnlich weder besonders nahe beieinander noch besonders verschieden voneinander sind. Abbildung 92 z. B. zeigt Photographien von dem recht durchschnittlichen Doppelstern Krüger 60, die 1908, 1915 und 1920 aufgenommen sind. Wenn eine große Anzahl von Beobachtungen dieser Art zur Verfügung steht, ist es leicht, die Bahn zu vervollständigen und dann die Massen der beiden Komponenten zu berechnen. Im Fall von Krüger 60 hat sich ergeben, daß sie ein Viertel bzw. ein Fünftel der Sonnenmasse betragen. Es gibt nicht viele Doppelsterne mit Komponenten, deren Massen wesentlich kleiner sind als diese, wohl aber solche, deren Massen einige hundertmal größer sind als die der Sonne.

Die beiden Komponenten von Krüger 60 brauchen 55 von unseren Jahren, um einmal umeinander zu kreisen. Doch ist dies noch eine ziemlich kurze Umlaufzeit

für einen Doppelstern; viele dieser Systeme haben eine Periode von Tausenden und manchmal von Hunderttausenden von Jahren.

Auf der anderen Seite gibt es Doppelsterne, deren Periode außerordentlich kurz ist und vielleicht nur nach Tagen, ja Stunden mißt. Solche Systeme erscheinen, wenn wir sie beobachten oder photographieren, nur als ein einzelner Lichtpunkt; die beiden Komponenten sind zu nahe, als daß das Fernrohr uns zwei verschiedene Sterne zeigen könnte. Manchmal sind die Bahnen solcher Doppelsterne derart im Raum angeordnet, daß einer der beiden einmal während je einer vollen Umdrehung zwischen der Erde und seinem Gefährten steht. In diesen Augenblicken ist das Licht des zweiten verfinstert und die totale Helligkeit des Sterns vorübergehend herabgesetzt. Doppelsterne dieser Art nennen die Astronomen optische Veränderliche; in günstigen Fällen mögen die beobachteten Wechsel des Gesamtlichtes uns instandsetzen, uns ein Bild von der ganzen Bewegung zu machen und die Größe der Bahn zusammen mit dem Durchmesser und der Masse der beiden Komponenten zu berechnen.

Irgendeinen Verfinsterungseffekt können wir an einem Doppelstern natürlich nur beobachten, wenn die Bahnen der beiden Komponenten so liegen, daß, von der Erde gesehen, einer direkt vor dem anderen vorbeigeht. Aber es gibt andere Mittel, um festzustellen, daß wir es mit einem Doppelstern zu tun haben.

Wenn ein Zug oder ein Auto an uns vorüberfährt und dabei pfeift oder hupt, bemerken wir, daß der Ton tiefer wird, während das Vehikel uns überholt. Dies Tiefer-

werden rührt von der Wellennatur des Schalls her; es gelangen mehr Wellen pro Sekunde in unser Ohr, wenn der Zug auf uns zukommt, als wenn er sich von uns fortbewegt.

Das Licht ist auch wellenartig, so daß, wenn ein Stern sich uns nähert, mehr Wellen in unser Auge gelangen, als wenn er ruht, und sein Licht also blauer aussieht. Dagegen werden, wenn er sich von uns fortbewegt, weniger Wellen aufgefangen, und das Licht erscheint roter als unter normalen Umständen. So können wir feststellen, ob ein Stern sich von uns fort- oder auf uns zu bewegt, indem wir sein Spektrum studieren. Wenn es scharfe, klarbestimmte Linien enthält, können wir den Betrag, um den diese verschoben sind, mit großer Genauigkeit messen und daraus auf die exakte Annäherungs- oder Abwanderungsgeschwindigkeit des Sterns schließen.

Es kann vorkommen, daß die Spektrallinien Jahr nach Jahr um genau denselben Betrag verschoben sind; dann wissen wir, daß der Stern sich mit vollkommen gleichförmiger Geschwindigkeit auf uns zu- oder von uns fortbewegt. In anderen Fällen variiert die Verschiebung beständig, anzeigend, daß die Bewegungsgeschwindigkeit des Sterns beständig wechselt; dann schließen wir, daß der Stern eine Bahn um einen Gefährten beschreibt, der entweder vollkommen dunkel oder so schwach ist, daß wir ihn nicht sehen können. Zuweilen, wie z. B. bei dem Stern ζ-Ursae Majoris, dessen Spektrum auf Tafel XL dargestellt ist, sind die Spektren beider Komponenten sichtbar, und dann können wir ihre Bahnen so genau berechnen, als sähen wir

die Sterne selbst umeinanderwandeln. Wenn wir aber die Bahnen kennen, können wir wiederum die Massen der Komponenten berechnen.

So, sehen wir, gibt es eine ganze Anzahl von Methoden, um die Sternmassen zu berechnen. Welchen Weg wir aber auch einschlagen, wir finden immer, daß die Giganten und die blauen Sterne ungeheuer viel mehr Masse haben als die weißen Zwerge. Der schwerste von allen Sternen, deren Gewichte wir mit einiger Sicherheit kennen, ist Plasketts Stern, ein blauer Doppelstern, dessen beide Komponenten eine jede ungefähr das 100-fache Gewicht der Sonne haben.

Methoden wie die hier beschriebenen vermitteln uns einen gewaltigen Schatz an Kenntnissen über Masse, Größe und Temperatur der Sterne. Noch vor wenigen Jahrzehnten konnten die Astronomen uns nicht viel mehr von den Sternen sagen als ihre Namen und Stellungen am Himmel, jetzt haben sie Einsichten über Einsichten in die Struktur jedes einzelnen Sterns gewonnen. Unsere Beobachtungen des Himmels haben ein ganz neues Interesse bekommen, seit wir mit den Sternen eine exakte Vorstellung ihrer Größe, ihrer Bewegung im Raum, ihres Gewichts, ihrer Farbe und vieler anderer physikalischer Eigenschaften verbinden können.

Wenn wir das tun, stellt es sich gar nicht selten heraus, daß ein Sternbild keine bloß zufällige Zusammenfassung einiger Sterne ist; seine Hauptsterne sind häufig sehr ähnlich in ihrer physikalischen Beschaffenheit und bewegen sich überdies alle mit derselben Geschwindigkeit in derselben Richtung, was darauf hinweist, daß sie physikalisch miteinander verbunden sind.

Ein gutes Beispiel hierfür sind die Sterne des Orion. Abgesehen von dem hellsten Stern der ganzen Konstellation, α-Orionis oder Beteigeuze, bewegen sich alle helleren Sterne darin praktisch in derselben Richtung und ungefähr mit derselben Geschwindigkeit. Auch ihre physikalischen Eigenschaften sind so ähnlich, daß sich unwillkürlich der Vergleich mit einem Schwarm zusammengehöriger Vögel aufdrängt. Immer abgesehen von der Beteigeuze sind die zwölf hellsten Sterne alle ungewöhnlich heiß, ungewöhnlich hell und ungewöhnlich schwer. Sie sind alle blau von Farbe und gehören zu der Sternklasse, deren Mitglieder eine besondere Neigung dazu haben, Doppelsterne zu bilden; so sind denn auch von diesen zwölf alle mit Ausnahme eines entweder sicher oder mit großer Wahrscheinlichkeit Doppelsterne. Der hellste unter ihnen, Rigel oder β-Orionis, verdient besonders erwähnt zu werden, da er einer der hellsten bekannten Sterne ist; er besitzt etwa die 15 000-fache Lichtstärke der Sonne.

Ein klein wenig anders, wenn auch im wesentlichen recht ähnlich, liegen die Verhältnisse im Sternbild des Großen Bären. Er ist eine weniger prächtige Gruppe als der Orion, er steht uns näher und ist durchaus eine gewöhnlichere, wenn auch immer noch sehr eindrucksvolle Erscheinung. Sechs von den sieben Sternen, welche den wohlbekannten Wagen bilden, sind weiß und ihrer physikalischen Beschaffenheit nach dem Sirius ziemlich ähnlich. Sie sind alle größer, heißer, heller und schwerer als die Sonne, wenn sie den Sternen des Orion auch bei weitem nachstehen. Auch hier sondert sich der hellste Stern des Bildes, α-Ursae Majoris oder

Dubhe, wiederum von den anderen ab, er ist ein ziemlich großer, kalter, roter Stern, der seine eigenen Wege geht. Nur drei von den sieben Sternen des Großen Bären sind Doppelsterne, die anderen sind bereits unter dem Helligkeits- und Temperaturniveau, auf welchem fast alle Sterne Doppelsterne sind.

Es wird uns schon aufgefallen sein, daß die besonders eindrucksvollen Sterne, welche die Konstellationen bilden, durchweg heller sind als die Sonne. Auch sind sie mit astronomischem Maß gemessen ganz nahe bei uns. Denn selbst die hellsten Sterne bleiben dem bloßen Auge unsichtbar, wenn sie sehr weit entfernt sind, und diese Sterne können wir alle leicht mit bloßem Auge wahrnehmen. So können wir gewiß sein, daß sie zugleich ungewöhnlich hell und ungewöhnlich nahe sind. Es wäre auch sonderbar, wenn die auffälligsten Sterne am ganzen Himmel ihre Leuchtkraft nicht einer Vereinigung günstiger Umstände dankten.

Wenn wir einen Durchschnittsstern studieren wollen, müssen wir ein Teleskop zu Hilfe nehmen. Wir sprachen schon davon, daß ein solches Instrument das Licht sammelt und dadurch den Durchmesser unserer Pupille aufs wirksamste vergrößert. Ein Teleskop mit der 10fachen Öffnung unseres Auges sollte uns instandsetzen, alle Arten astronomischer Objekte im Raum zu sehen, die 10mal weiter von uns entfernt sind als diejenigen, bis zu welchen das bloße Auge vordringt. Wenn die Sterne also gleichmäßig im Raum verteilt wären, müßten wir auf diese Weise 1000mal mehr sehen als mit bloßem Auge. Mit einem Fernrohr von der 20fachen Öffnung unseres Auges müßten wir schon

8000mal mehr sehen, und so unbegrenzt weiter. Wenn wir den Versuch jedoch tatsächlich ausführen, finden wir, daß das Gesetz nur bis zu einer gewissen Entfernung gilt. Nachher versagt es, und zwar erblicken wir weniger Sterne, als wir nach dem Gesetz erwarten sollten, wie wenn einige nicht an ihren Plätzen stünden. Das heißt aber offenbar, daß der Raum nicht gleichmäßig mit Sternen erfüllt ist. Wenn wir weit genug in den Raum hinauskommen, gelangen wir zu einer Grenze, wo die Sterne auszugehen beginnen, und wir können bestimmen, wo diese Grenze liegt, wenn wir aufpassen, wo das Gesetz zuerst anfängt zu versagen.

Die fünf Aufnahmen von Sternbildern auf den Tafeln XLVI—XLVIII zeigen, wie man bei dieser Methode verfährt. Dasselbe Sternfeld ist mit verschieden langer Expositionsdauer photographiert, wobei diese so eingerichtet ist, daß jede Tafel (außer der letzten) Sterne zeigt, welche um drei Sternklassen schwächer sind als die auf der vorhergehenden Tafel. Ein Stern nun, der um drei Größenklassen schwächer ist als ein anderer, ist annähernd $^1/_{16}$ so hell wie dieser (vgl. Abbildung 42). Es kann leicht gezeigt werden, daß jede Tafel, außer der letzten, wenn die Sterne gleichmäßig im Raum verteilt wären, 64mal so viele Sterne aufweisen müßte als die vorhergehende; für die letzte Tafel wäre das Verhältnis 16 : 1.

In Wirklichkeit bleibt die Zunahme in der Anzahl der Sterne auf den einander folgenden Tafeln weit hinter diesen Ziffern zurück, was anzeigt, daß die vorhin erwähnte Grenze in dem Sternsystem schon ziemlich am Anfang dieser Serie von Aufnahmen liegt.

Die beiden Herschels, Vater und Sohn, benutzten eine ähnliche Methode, um die Gestalt und die Grenzen des Sternsystems festzustellen, zu dem unsere Sonne gehört. Wenn die Sonne im Zentrum eines kugelförmigen Haufens von Sternen läge, würde die Grenze offenbar in allen Richtungen gleich weit entfernt sein. In Wirklichkeit ist sie das aber nicht.

Wenn wir auf hoher See oder in einer flachen Landschaft in einen Schneesturm geraten, kann es geschehen, daß wir rechts und links und vorn und hinten von Schneeflocken umwirbelt sind, die einen undurchsichtigen Wall bilden, während der Himmel über uns verhältnismäßig klar aussieht. Der Grund dafür ist natürlich, daß das Gestöber in allen waagerechten Richtungen für viele Kilometer weitergeht, während es in der senkrechten höchstens 1½ km tief ist.

Die Herschels fanden nun, daß die Sterne so angeordnet sind wie die Schneeflocken in einem Schneetreiben — d. h. in einer flachen Scheibe von der Gestalt einer Münze oder eines Wagenrads. Sie glaubten, die Sonne stünde irgendwo in der Nähe des Mittelpunktes, aber wir wissen jetzt, daß sie sich darin irrten, da die Stärke ihrer Teleskope bei weitem nicht ausreichte, um bis an den Rand des Systems vorzudringen. Die Sonne ist vom Mittelpunkt weit entfernt, allerdings liegt sie nahezu in der Mittelebene des Systems.

Wenn wir in Richtung der Mittelebene dieses Sternrads schauen, sehen wir durch die größtmögliche Dicke des Systems und sollten daher beinah eine feste Wand von Sternen gewahren, gleich der Flockenwand, die sich uns darbietet, wenn wir in einem Schneegestöber den

Blick gegen den Horizont richten. Diese Mauer von Sternen ist die Milchstraße, die sich als ein schwaches Band schimmernden Lichtes in jeder klaren mondlosen Nacht über den Himmel spannt. Die Natur der Milchstraße war bis zu Galileis Zeiten ein Rätsel geblieben, aber sein Fernrohr zeigte sofort, daß sie aus Sternen bestand, wie übrigens schon Anaxagoras und Demokrit mehr als 2000 Jahre vor ihm vermutet hatten. Diese Sterne sind so weit entfernt, daß wir nicht hoffen können, sie je als einzelne Individuen zu erkennen, aber das Licht von Millionen und Millionen schwacher, ferner Sterne verbindet sich zu dem Eindruck einer zusammenhängenden Lichtwolke.

Der Himmel, den wir ohne die Hilfe des Fernrohrs sehen, besteht aus diesem Hintergrund sehr schwacher, ferner Sterne, von welchem sich der Vordergrund heller Sterne abhebt, die zu den Konstellationen zusammentreten. Das Fernrohr verbindet beide, indem es zeigt, daß ein Mittelgrund da ist, bestehend aus Sternen, die zu schwach sind, um einzeln wahrgenommen zu werden, und zugleich zu dünn verteilt, als daß sie eine zusammenhängende Lichtwolke bilden könnten. So wissen wir nun, daß die Sonne ein Glied eines einzigen Sternsystems ist, dessen Gestalt wir mit der einer Scheibe, einer Münze oder eines Wagenrads verglichen haben.

Wir sprachen früher davon, daß man die Methode der Feldvermessung anwenden kann, um die Entfernung der Sterne zu bestimmen — wir legen von einem Punkt der Erdbahn bis zu dem ihm genau entgegengesetzten rund 300 Millionen Kilometer zurück und

können feststellen, um wieviel die scheinbare Richtung eines Sternes sich dadurch verändert. Leider ist diese Methode nur für die nächsten Sterne anwendbar. Am nächsten steht uns Proxima Centauri mit einer Entfernung von 40 Billionen Kilometer; um große Zahlen zu vermeiden, geben die Astronomen diese Entfernung wohl auch als 4¼ Lichtjahre an, denn um von diesem Stern zu uns zu gelangen, braucht das Licht, das etwa 9½ Billionen Kilometer in einem Jahr zurückgelegt, rund 4¼ Jahre; wir sehen den Stern nicht, wie er jetzt ist, sondern wie er vor 4¼ Jahren war.

Wenn es sich darum handelt, den Abstand verhältnismäßig naher Sterne zu ermitteln, leistet, wie gesagt, die Methode des Feldvermessers gute Dienste, aber für Sterne in größeren Entfernungen ist sie begreiflicherweise weniger erfolgreich. Sie beginnt zu versagen für Sterne, deren Licht mehr als einige Jahrhunderte braucht, um zu uns zu gelangen, und ist völlig nutzlos bei Sternen an den äußeren Grenzen unseres Sternsystems. Zur Bestimmung ihrer Entfernung müssen wir andere Methoden erdenken.

Die beste Methode besteht darin, daß man die Eigenhelligkeit eines Sterns aus seinen allgemeinen physikalischen Eigenschaften berechnet; denn sobald diese bekannt ist, ergibt sich aus ihrem Vergleich mit der scheinbaren Helligkeit sofort die Entfernung des Sterns.

Es gibt drei besondere Sternarten, deren absolute Helligkeit mit ziemlich großer, wenn auch wechselnder Genauigkeit bestimmt werden kann. Wir bemerkten schon, daß alle blauen Sterne sehr hell sind, und es

stellt sich heraus, daß ihre Lichtstärke tatsächlich fast vollkommen abhängt von dem Grad ihrer Blauheit sozusagen, d. h. von dem exakten Spektraltyp des Sterns. Dasselbe gilt für die sehr großen Sterne, die wir die roten Giganten genannt haben.

Damit besitzen wir eine Methode, um aus dem Studium der Spektren dieser beiden Sternarten ihre Eigenhelligkeit zu ermitteln, und aus ihrer Eigenhelligkeit können wir auf ihre Entfernung schließen.

Bei der dritten Klasse von Sternen können wir die Entfernungen sogar mit noch größerer Genauigkeit berechnen. Sie besteht aus den sogenannten Cepheiden oder lang-periodischen Veränderlichen, die dadurch gekennzeichnet sind, daß sie nicht in stetigem Licht leuchten, sondern ihre Helligkeit beständig von Tag zu Tag ändern. Dieser periodische Helligkeitswechsel wiederholt sich in vollkommen regelmäßigen Abständen, und die Lichtstärke des Sterns hängt fast ausschließlich von der Länge des Intervalls ab; die Sterne, die sich am langsamsten wandeln, haben die größte Eigenhelligkeit, und diejenigen, die am schnellsten wechseln, die geringste. Wie entfernt solch veränderlicher Stern nun auch von uns sein mag, wir sind immer imstande, das Zeitintervall zwischen hell und hell oder zwischen dunkel und dunkel zu messen. Aus dieser einfachen Beobachtung folgt aber die Eigenhelligkeit des Sterns und daraus wiederum seine Entfernung.

Aber selbst mit Hilfe all dieser Methoden wäre die Vermessung unseres Sternsystems eine schwierige Aufgabe, wenn uns nicht Hilfe von anderswoher käme, nämlich von den Himmelskörpern, die wir als kugelförmige Sternhaufen bezeichnen. Sie sind ebenfalls Sternsysteme, aber von viel kleineren Ausmaßen als das Hauptsystem, wenngleich auch sie Hunderttausende von Sternen enthalten. In jedem Sternhaufen gibt es nun eine große Anzahl von Cepheiden, mit deren Hilfe man leicht seine Entfernung bestimmen kann. Wenn diese aber bekannt ist, macht es keine Schwierigkeit mehr, die Größe zu berechnen, und sonderbarerweise stellt sich heraus, daß die Sternhaufen einander alle fast völlig gleichen in bezug auf Gestalt, Größe und allgemeine Anordnung — warum, wissen wir nicht.

Wenn man die Lage dieser Sternhaufen feststellt, sieht man, daß sie in einem münzen- oder scheibenförmigen Gebilde von annähernd kreisrunder Gestalt angeordnet sind, welches gleichmäßig und symmetrisch zu beiden Seiten der Milchstraße liegt. Man hat Grund zu vermuten, daß die allgemeine Anordnung und Lage des Systems der Sternhaufen mit der des Sternsystems zusammenfällt, so daß dort, wo die Haufen zu Ende sind, auch das Sternsystem zu Ende wäre. Wenn dem so ist, muß das Sternsystem einen Durchmesser von rund 200 000 Lichtjahren haben. Aber sein Mittelpunkt, weit davon, in der Nähe der Sonne zu liegen, wie die Herschels glaubten, befindet sich vielmehr einige 40 000 Lichtjahre davon entfernt.

So können wir uns das Milchstraßensystem denn als eine Münze, eine Scheibe oder ein Wagenrad vorstellen, in dessen Mittelebene die Sonne liegt, aber etwa um den dritten Teil des Radius vom Mittelpunkt entfernt. Der Mittelpunkt des Systems ist so weit von uns entfernt, daß wir selbst seine hellsten Sterne nicht mit

bloßem Auge sehen können; das bloße Auge sieht bestenfalls noch Sterne, deren Licht 3000 Jahre braucht, um zu uns zu gelangen. Dadurch erklärt es sich, warum die hellen Sterne der Sternbilder sich gleichmäßig über den Himmel zu verteilen scheinen; wir sehen nur ein winziges Stück des ganzen galaktischen Systems, und innerhalb seiner sind die Sterne tatsächlich einigermaßen gleichförmig verteilt.

Erst unlängst hat man entdeckt, daß die Bewegungen der Sterne weder völlig regellos noch gleichförmig geordnet sind; es scheint jetzt vielmehr festzustehen, daß das ganze System um einen Mittelpunkt kreist, etwa wie ein Wagenrad um seine Nabe. Diese Drehung des großen Sternrads schwingt den Sonnenball mit einer Geschwindigkeit von etwa 320 km pro Sekunde durch den Raum; aber das Rad ist so groß, daß die Sonne sich 250 Millionen Jahre mit dieser Geschwindigkeit fortbewegen muß, ehe sie einen vollen Kreis um die Nabe beschrieben hat.

Eine solche Drehgeschwindigkeit ist fast unvorstellbar klein — eine einzige Umdrehung in 250 Millionen Jahren. Um uns eine Vorstellung hiervon zu machen, wollen wir unser rotierendes Wagenrad mit dem Stundenzeiger einer Uhr vergleichen, der einmal in zwölf Stunden um das Zifferblatt läuft. Wenn wir den Gang des Stundenzeigers nun so verlangsamen, daß er sich mit derselben Geschwindigkeit bewegt wie das Sternsystem, dauert der Ruck, der sonst jede Sekunde erfolgt, über 5000 Jahre — fast die ganze Zeit der Menschheitsgeschichte. Aber eine Untersuchung des Alters der Sterne führt uns zu der Annahme, daß unser Rad einige Tausende, wenn nicht Hunderttausende von Umdrehungen vollendet hat.

Die Sonne würde von diesem kreisenden Rad in den Raum hinausfliegen wie ein Schmutzklümpchen von einem Reifen, wenn die Gravitationsanziehung der anderen Sterne sie nicht festhielte. Diese Gravitationsanziehung erhält die Sonne auf ihrer Bahn, genau wie die Gravitationsanziehung der Sonne die Erde. Und wie unsere Kenntnis der Erdbahn es uns gestattet, die Masse der Sonne zu berechnen, so gestattet unsere Kenntnis der Sonnenbahn uns, die Gesamtmasse der Sterne zu berechnen, welche das große Rad bilden. Die Anzahl der Sterne in dem Rad ist sicher größer als 100 000 Millionen und mag sehr wohl das Doppelte betragen.

Als einzelne Lichtpunkte können wir mit bloßem Auge von dieser ganzen Sternenmenge höchstens 5000 erkennen — je einen von 40 Millionen. Auf jeden Stern, den wir sehen, kommen also 39 999 999 andere, die entweder völlig unsichtbar sind oder aufgehen in dem allgemeinen schwachen Schein der Milchstraße. Die Erde hat ungefähr 2000 Millionen Einwohner, so daß, wenn die Sterne gleichmäßig unter sie verteilt würden, ungefähr 100 auf jeden kämen. Doch wenn wir uns die Sterne wählen, indem wir aufs Geratewohl Lose ziehen, werden wir feststellen müssen, daß wir nur mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 1 gegen 400 000 imstande sind, auch bloß einen einzigen von unseren Sternen zu sehen, ohne uns eines Fernrohrs zu bedienen.

VIII. Kapitel

Die Nebel

Der Mond und die Planeten sind sehr auffällige Objekte am Himmel, aber wir wissen, daß sie nur so groß und hell aussehen, weil sie unsere nahen Nachbarn sind. Im übrigen können wir mit bloßem Auge von dem Universum nichts sehen außer Sternen.

Ein kleines Fernrohr oder ein Feldstecher zeigt uns weit mehr Sterne, aber es zeigt uns zugleich auch noch etwas ganz anderes. Eine neue Klasse von Himmelskörpern tritt in unser Gesichtsfeld, die wolkigen, unbestimmten Flecken schwachen Lichtes, die wir als Nebel bezeichnen.

Der Name deutet auf etwas Schleierhaftes, Dunstiges hin; in den Anfängen der Astronomie wurde er unterschiedslos für jeden Gegenstand am Himmel gebraucht, der fedrig und flockig aussah und keinen klaren Umriß darbot. Seither hat man gefunden, daß die Nebel in drei verschiedene Klassen zerfallen.

Die erste besteht aus den sogenannten planetarischen Nebeln, die ganz innerhalb unseres Sternsystems liegen. Wir wissen, daß sie selbst Sterne sind, die aus nicht ganz durchsichtigen Gründen von sehr ausgedehnten Atmosphären umgeben sind. Beispiele hierfür finden sich auf Abbildung 98. Wir sagten von den roten Gi-

ganten, sie seien groß, aber wenn man bei diesen Sternen ihre Atmosphäre mitrechnet, sind sie unvergleichlich viel größer. Unsere Rakete, die 8000 km in der Stunde zurücklegt, würde 9 Jahre brauchen, um den größten der roten Giganten zu passieren, aber 90 000 Jahre, um durch einen dieser planetarischen Nebel hindurchzugelangen. Das heißt, wenn wir die planetarischen Nebel als Sterne ansehen, sind sie 10 000mal größer als die größten Sterne, von denen bislang die Rede war.

Genau genommen sind diese Nebel allerdings Sternatmosphären und nicht Sterne. Wenn wir durch sie hindurchspähen, sehen wir in ihrem Kern die Sterne selbst, und diese sind viel bemerkenswerter als die mächtigen Atmosphären, von denen sie eingehüllt sind. Zunächst sind sie überraschend klein, ihr Durchmesser mißt nur etwa ein Fünftel von dem der Sonne. Ihre Oberflächen haben außerordentlich hohe Temperaturen, die sich zwischen 70 000° und 75 000° bewegen. Das sind die höchsten Temperaturen, die im Universum beobachtet worden sind — allerdings wissen wir, daß das Innere der Sterne, das wir nicht beobachten können, noch heißer sein muß. In gewissem Sinn sind die erwähnten Temperaturen selbst Binnentemperaturen, weil sie auf dem Grund der gewaltigen Atmosphären gemessen sind, welche die Sterne umgeben, und nicht an den Oberflächen der Sterne. Diese geringe Größe und ungemein hohe Temperatur spricht dafür, daß die Sterne im Kern der planetarischen Nebel zu derselben allgemeinen Klasse gehören wie die weißen Zwerge, von denen auf S. 227 die Rede war.

Die zweite Klasse von Nebeln besteht ebenfalls aus Himmelskörpern innerhalb des Sternsystems, das von der Milchstraße umgürtet wird. Die Nebel der ersten Klasse sind Atmosphären um einzelne Sterne; die der zweiten könnten wir beschreiben als Atmosphären um ganze Gruppen, ja manchmal um ganze Konstellationen von Sternen. Abbildung 99 zeigt eine Aufnahme mit langer Expositionsdauer von der bekannten Sterngruppe der Plejaden. Ein flüchtiger Blick auf diese Sterne, sei es mit bloßem Auge oder durch ein Fernrohr, läßt keinerlei Nebel erkennen, aber wenn man die Gruppe mit einer langen Expositionsdauer photographiert, stellt sich heraus, daß jeder Stern von einer nebelartigen Lichtwolke umgeben ist. Abbildung 100 zeigt die vielfältigen Einzelheiten eines Nebels, der einen einzelnen Stern umgibt.

Bei noch längeren Expositionsdauern würden die Nebel um die verschiedenen Sterne herum sich zu einer zusammenhängenden Lichtwolke vereinigen, und was wir vor uns hätten, wäre eine ungeheure Anzahl von Sternen, eingebettet in ein mächtiges, ungeteiltes Nebelmeer. Ein Beispiel eines solchen Nebelmeeres zeigt uns Abbildung 101. In manchen Fällen nehmen die Nebel anstatt der Form von Lichtwolken die Gestalt dunkler Flecken an; Abbildung 102 gibt ein charakteristisches Beispiel hierfür. Es ist ziemlich sicher, daß diese dunklen Flecken durch absorbierende Materie hervorgebracht werden, die das Licht der dahinterliegenden Sterne auffängt; und die Absorption wird wohl von derselben allgemeinen Art sein wie die, welche die dunklen Linien in den Sternspektren erzeugt und unsere

eigene Atmosphäre ihrer ultravioletten Strahlung beraubt. Das Licht wird von kaltem Gas absorbiert, von heißem dagegen emittiert.

Diese Nebel bieten ein großartiges Schauspiel, aber nur in der Art wie der Mond und die Planeten — nämlich weil sie uns verhältnismäßig nahe sind. Die Nebel der dritten Klasse dagegen, zu denen wir jetzt kommen, sind an sich Erscheinungen großen Stils. Ein planetarischer Nebel mag zehn- oder vielleicht hundertmal soviel Licht aussenden wie die Sonne, einer der eben beschriebenen sogenannten galaktischen Nebel hundert- oder tausendmal soviel, aber die Nebel der dritten Klasse, die außergalaktischen Nebel, leuchten einige tausend Millionen mal heller als sie. Sie sind ungeheuer viel größer als die galaktischen Nebel, aber sehen kleiner und weniger eindrucksvoll aus wegen ihrer großen Entfernung von uns.

Diese drei Arten von Nebeln sind so verschieden an Gestalt und allgemeiner Erscheinung, daß es gewöhnlich nicht schwer ist, sie auseinanderzuhalten. Aber ihre Spektren liefern gegebenenfalls ein weiteres Unterscheidungsmerkmal. Wenn man das Licht der planetarischen oder galaktischen Nebel im Spektroskop zerlegt, findet man, daß es dasselbe Spektrum liefert wie die verschiedenen auf der Erde bekannten Atomarten. Das zeigt, daß diese Nebel nur Wolken leuchtender Atome sind — Gas, das von den darin eingebetteten Sternen erhellt wird.

Die außergalaktischen Nebel dagegen ergeben Spektren von der Art der Sternspektren. So liegt die Vermutung nahe, daß sie nicht Atom- sondern Sternwolken

sind. Das war eine ganze Zeitlang nichts weiter als eine plausible Vermutung, aber es herrscht jetzt wohl kaum noch ein Zweifel an ihrer Wahrheit. Denn wie Galileis Fernrohr die Milchstraße in einzelne Lichtpunkte auflöste, die er sofort als Sterne erkannte, so unterscheiden die neuen Riesenteleskope in den äußeren Gegenden dieser Nebel individuelle Lichtpunkte, die wir unbedenklich als Sterne bezeichnen können.

Man kann vernünftigerweise nicht zweifeln, daß sie wirklich Sterne sind, denn sie zeigen praktisch alle Eigenschaften der Sterne unseres eigenen Milchstraßensystems. Viele zum Beispiel leuchten nicht mit stetigem Licht, sondern schwanken auf dieselbe charakteristische und ganz unverkennbare Art wie unsere Cepheiden. In jüngster Zeit haben sich noch weitere Objekte feststellen lassen, die uns aus unserem System vertraut sind. Man hat nicht nur veränderliche Sterne aller Art gefunden, sondern auch sogenannte novae oder neue Sterne, die plötzlich zu dem Vieltausendfachen ihrer gewöhnlichen Helligkeit aufflammen und dann nach einigem Hin- und Herschwanken zwischen Hell und Dunkel wieder schwach werden. Auch kugelförmige Sternhaufen sind entdeckt worden, die denen unseres eigenen galaktischen Systems sehr ähnlich sind. Man kann also nicht zweifeln, daß diese extragalaktischen Nebel, wenigstens zum Teil, Sternsysteme sind wie unser eigenes Milchstraßensystem.

Wir haben gesehen, daß Veränderliche und Sternhaufen überall in unserem galaktischen Sternsystem vorkommen und es uns ermöglichen, die Entfernungen der entlegensten Gegenden dieses Systems zu ermitteln.

Auf dieselbe Weise können nun die Entfernungen der näheren Nebel festgestellt werden. Man kann in ihnen Cepheiden und andere Veränderliche wiedererkennen an der besonderen Art ihres Lichtwechsels. Sie verhalten sich genau wie die Veränderlichen in unserer Nachbarschaft, nur daß sie ihrer größeren Entfernung wegen ungeheuer viel schwächer erscheinen. Und der Unterschied der Helligkeit verrät, wie wir wissen, ohne weiteres den Unterschied der Entfernung.

Auf diese Weise hat man gefunden, daß die beiden nächsten Nebel ungefähr 800 000 Lichtjahre entfernt sind; d. h. das Licht, das jetzt von ihnen bei uns eintrifft, brach vor etwa 800 000 Jahren zu seiner Reise durch den Raum auf, gerade als der Mensch zuerst auf der Erde erschien. Abbildung 104 zeigt einen dieser beiden nahen Nebel, den großen Nebel in der Andromeda. Trotz seiner gewaltigen Entfernung nimmt er ein gutes Stück des Himmels ein; wenn der Vollmond auf demselben Bild photographiert wäre, würde er nur so groß wie eine Scheibe von etwa 1¾ cm aussehen. Und dies ist noch nicht einmal die volle Größe des Nebels. Je länger man ihn untersucht, um so mächtigere Dimensionen nimmt er an, und es hat sich schon jetzt herausgestellt, daß er in Wahrheit mehrmals so groß ist als auf dieser Aufnahme.

Ein Objekt, das so unausdenkbar weit von uns entfernt ist und trotzdem so viel Platz am Himmel einnimmt, muß offenbar über alle Vorstellung groß sein. Unsere Rakete, die den Mond in 2 Tagen erreichen kann, würde 1 Woche brauchen, um durch die Sonne, 9 Jahre, um durch einen gewöhnlichen großen Stern

und 90 000 Jahre, um durch einen planetarischen Nebel hindurchzugelangen — aber es hat eigentlich keinen Sinn zu sagen, wie lange es sie kosten würde, diesen Nebel zu passieren. Sein Durchmesser beträgt ungefähr 100 000 Lichtjahre, und das heißt, daß sie an die 12 000 Millionen Jahre unterwegs wäre. Wir müßten die Photographie unseres Nebels so groß machen wie ganz Europa, bevor ein Ding von dem Format der Sonne darauf überhaupt sichtbar würde.

Wir erkennen, daß dieser Nebel ebenfalls die Gestalt einer Art Wagenrad hat wie unser eigenes Milchstraßensystem. Alles, seine Größe, seine Gestalt, seine allgemeine Natur vereinigt sich, um die Vermutung nahezulegen, daß er ein ganz ähnliches Gebilde ist wie unser eigenes System. Es kommt hinzu, daß dieser Nebel und eine große Anzahl anderer nicht nur die Form eines Wagenrads haben, sondern sich auch wie ein Wagenrad um ihre Achse oder Mitte drehen — wiederum gleich unserem eigenen System. Jedes dieser Räder wird zu einem kompakten Gebilde zusammengehalten durch die Gravitationsanziehung seiner Teile, so daß wir seine Masse mittels derselben Methode ermitteln können, die wir schon zur Bestimmung der Masse der Sonne und des Milchstraßensystems benutzt haben, wenn man auch keine zu große Genauigkeit von einer solchen Berechnung erwarten darf. Der Andromeda-Nebel vollendet einmal in 20 Millionen Jahren eine volle Umdrehung um seine Achse, und daraus hat man berechnet, daß seine Masse derjenigen von ein paar tausend Millionen Sonnen gleichkommt — es ist sicherer, nicht genau zu sagen, von wievielen.

Die außergalaktischen Nebel haben nun nicht alle die Gestalt eines Wagenrads; sie sind im Gegenteil ihrer Gestalt wie ihrer allgemeinen Erscheinung nach von ziemlich großer Mannigfaltigkeit. Doch stellt es sich heraus, daß sie sich alle in einer einzigen stetigen Folge anordnen lassen. Die Folge beginnt mit Nebeln von flockigem Aussehen und runder oder nahezu runder Form, in denen man keine Sterne unterscheiden kann; sie endet mit reinen Sternwolken von der Art unseres eigenen Milchstraßensystems. Nur die Nebel in der letzten Hälfte der Folge haben die Gestalt von Wagenrädern, und hier ist der Vergleich besonders am Platze, da viele von ihnen um eine Art Knopf in der Mitte rotieren, der überraschende Ähnlichkeit mit der Nabe eines Wagenrads hat. Diese Wagenradform kann mehr oder weniger gut erkennbar sein, wenn wir die Nebel zufällig unter einem ungünstigen Winkel sehen (vgl. Tafel LIII), aber sie kommt sehr klar heraus, wenn wir gerade auf die Kante schauen, wie in Abbildung 105. Wir müssen berücksichtigen, daß ein wirklicher Nebel von allen Seiten her betrachtet werden kann; dann finden wir, daß unsere Folge eine Anordnung nach dem Maß der Flachheit ist, in der Weise, daß die Gestalt alle Formen von einer Kugel bis zu einem Wagenrad durchläuft.

Wenn wir durch einen Eichenwald wandern, begegnen uns Bäume aller Größen von voll ausgewachsenen Stämmen hinunter zu Schößlingen und jungen Keimen, die gerade aus den Eicheln hervorbrechen, ja schließlich zu den am Boden herumliegenden Eicheln selbst. Wir wissen, daß alle diese Zustände sich zu einer

stetigen Folge anordnen lassen, beginnend mit den frisch gefallenen Eicheln über die Keimlinge, die jungen Bäumchen bis zu den ausgewachsenen Eichen. Die Vermutung drängt sich auf, daß die verschiedenen Erscheinungen verschiedene Stadien des Wachstums darstellen und also eine „Entwicklungsreihe" bilden. Aber das bleibt vorerst eine Vermutung; Eichen wachsen langsam, und wir können nicht lange genug warten, um die Veränderung vor sich gehen zu sehen.

Dasselbe gilt für die Nebel. Jede merkliche Veränderung muß Millionen von Jahren beanspruchen. Wir können nicht dabeistehen und zuschauen, aber wir können vermuten, daß sie, wenn sie sich verändern, von einem Zustand der Folge in den nächsten übergehen. Wenn das richtig ist, wird die Folge zu einer Art kinematographischem Film, auf dem wir die Lebensgeschichte eines Nebels abrollen sehen. Alle Nebel, die einem bestimmten Nebel in der Folge voraufgehen, zeigen Stadien, die dieser Nebel irgendwann in der Vergangenheit durchlaufen hat; alle, die nach ihm kommen, sind Bilder dessen, was er irgendwann in der Zukunft einmal sein wird.

Unsere Folge hat noch ein weiteres Interesse, denn die Rechnung zeigt, daß sie fast genau mit der Folge der Gestalten übereinstimmt, die ein riesenhafter Gasball annehmen würde, wenn er allmählich schrumpfte und dabei seine Umdrehungsgeschwindigkeit vergrößerte. Je schneller der Gasball rotiert, um so flacher ist er — genau wie die Planeten des Sonnensystems. Schließlich wird er so flach, daß er nicht mehr flacher werden kann; ein weiteres Anwachsen der Rotationsgeschwindigkeit bewirkt, daß Materie vom Äquator fortfliegt — in der Art wie wir es uns früher als ein mögliches Ereignis auf der Erde vorstellten, wenn sie rasch genug herumgedreht würde. Wir glauben, daß Rand und Speichen des Wagenrads auf diese Weise zustande gekommen sind, während die Nabe den stark abgeplatteten Überrest des ursprünglichen Gasballs darstellt. Das letzte Ende dieser Folge ist von besonderem Interesse, denn wenn es so weit gekommen ist, hat sich das ganze Gas zu einzelnen Kugeln verdichtet, und aus der Rechnung geht hervor, daß jede Kugel ungefähr die gleiche Masse haben würde wie ein wirklicher Stern. So ist es eine natürliche Annahme, daß jeder Nebel begann als eine rotierende Gasmasse, daß diese Masse durch die von uns beschriebene Folge von Veränderungen hindurchging oder -gehen wird und schließlich als eine Sternwolke endete oder enden wird. Die Nebel sind die Geburtsstätten der Sterne; in ihnen werden chaotische Gasmassen zu Sternen geformt, wie wir sie in unserem eigenen Milchstraßensystem kennen.

Wenn diese Hypothesen Stich halten, können wir unsere Erde zurückverfolgen bis zur Sonne und die Sonne bis zu einem Nebel, aber wie sind die Nebel selbst entstanden?

Die meisten Kosmogonien gehen davon aus, daß das Universum begann als eine chaotische Gasmasse. Man kann zeigen, daß eine solche Gasmasse nicht gleichmäßig über den Raum verteilt bleiben wird. Die Dampfwolke, die aus einem Teekessel oder dem Schornstein einer Lokomotive aufsteigt, bleibt nicht gleichmäßig ausgebreitet, sondern hat eine Neigung, sich in win-

zigen Tropfen niederzuschlagen, und dasselbe würde mit jedem im Raum verteilten Gas geschehen. Ein gleichförmig verteiltes Gas, welcher Art auch immer, ist instabil in dem Sinn, daß jede leichte Störung oder Unregelmäßigkeit eine Neigung hat, sich unbegrenzt zu vergrößern anstatt sich auszugleichen. Am Ende kommt es zur Kondensation oder zum Niederschlag der ganzen Masse in einzelnen Massen eines dichteren Gases. Aus der Rechnung ergibt sich, daß dabei die Einzelmassen ungefähr der Größenordnung der tatsächlichen Nebel entsprechen und sich etwa in dem durchschnittlichen Abstand voneinander bilden, den die beobachteten Nebel haben. Das macht es uns möglich, noch einen weiteren hypothetischen Schritt in die Vergangenheit zurück zu tun. Nachdem wir schon, die Zeit nach rückwärts durchmessend, von der Erde zur Sonne und von der Sonne zum Nebel gelangt sind, können wir unsere Geschichte jetzt zu Ende erzählen, indem wir die Nebel auf eine den ganzen Raum erfüllende Masse chaotischen Gases zurückführen.

Wenn die Nebel auf diese oder ähnliche Art entstanden sind, sollten wir erwarten, daß sie in bezug auf Größe, Gewicht und Eigenhelligkeit einander alle ziemlich gleich sind. In der Tat ist das mit großer Annäherung der Fall. Zwei Nebel derselben Gestalt mögen oft sehr verschieden groß und hell aussehen, aber der Unterschied der Erscheinung kann gewöhnlich so gut wie ganz dadurch erklärt werden, daß sie verschieden weit von uns entfernt sind.

Wenn das aber ein allgemeines Gesetz ist, wie es im Augenblick scheint, so können wir Nebel von einer bestimmten Gestalt als eine Art Standardware ansehen wie die Cepheiden und ihre Entfernungen aus ihren scheinbaren Helligkeiten erschließen (Tafel LIV). Die schwächsten Nebel, die mit dem großen 100-inch-Teleskop auf dem Mount Wilson photographiert werden können, sind so weit weg, daß ihr Licht 140 Millionen Jahre braucht, um uns zu erreichen, d. h. 1000-mal ferner als der fernste Stern in der Milchstraße. Etwa zwei Millionen Nebel haben diesen Abstand von uns.

Astronomisch sind diese Nebel interessant, da sie sehr schöne und merkwürdige Objekte sind. Kosmogonisch sind sie von noch größerem Interesse, da sie nach unserer Überzeugung wie auf einem kinematographischen Film die Entstehung von Sonne und Sternen darstellen. Aber in jüngster Zeit haben sie die Aufmerksamkeit in noch erhöhtem Maße auf sich gelenkt, weil sie alle von uns fortzustürzen scheinen — und zwar mit ungeheuerlichen Geschwindigkeiten.

Wir sprachen schon davon, daß die Bewegung eines Sterns sich in einer Verschiebung der Linien seines Spektrums ausdrückt — einer Rotverschiebung, wenn er sich von uns entfernt, einer Violettverschiebung, wenn er auf uns zukommt. Nun stellt sich heraus, daß auch im Spektrum der Nebel viele Linien eine stark abweichende Lage haben, und das läßt sich am leichtesten durch die Annahme erklären, daß die Nebel selbst in Bewegung sind.

Bis vor kurzem waren wir nur imstande, die Spektren einiger naher Nebel zu untersuchen, und diese schienen darauf hinzuweisen, daß die Nebel so gut wie völlig willkürlich kamen und gingen. Allmählich bemerkte

man jedoch, daß die Bewegungen nicht ganz chaotisch waren; die auf uns zukommenden Nebel befanden sich vorzugsweise in einer Hälfte des Himmels, die abwandernden in der anderen. Das alles ließ sich erklären, wenn die Annahme möglich war, daß die Sonne sich mit einer Geschwindigkeit von einigen hundert Kilometern in der Sekunde auf die erste Gruppe zu- und also von der zweiten fortbewegte.

Die Rotation des Milchstraßensystems hat nun genau die Bewegung geliefert, die nötig ist, um eine solche Annahme zu rechtfertigen. Aber die scheinbaren Bewegungen der Nebel sind noch etwas mehr als eine bloße Spiegelung der Bewegung der Sonne im Raum. Wenn die Sonnenbewegung von den scheinbaren Bewegungen der Nebel abgezogen wird, sind die Nebel noch nicht in Ruhe und bewegen sich auch nicht regellos wie die Moleküle eines Gases. Statt dessen finden wir, daß alle Nebel von uns zurückweichen mit Geschwindigkeiten, die nahezu, wenn auch nicht ganz, proportional sind zu ihren Entfernungen.

In runden Zahlen ist ein Abstand von je einer Million Lichtjahren verbunden mit einer Geschwindigkeit von 160 km in der Sekunde. D. h. Nebel, die eine Million Lichtjahre von uns entfernt sind, wandern mit dieser Geschwindigkeit von uns fort, solche, die zwei Millionen Lichtjahre von uns entfernt sind, mit der doppelten usw. Die größte Rezessionsgeschwindigkeit, die bis jetzt beobachtet ist, beträgt 24 000 km pro Sekunde — also ungefähr eine Million mal so viel wie die Geschwindigkeit eines Schnellzugs. Die Entfernung des Nebels, der diesen Rekord hält, wird auf 135 Millionen Lichtjahre

geschätzt, das ist schon sehr nahe an der Grenze der Reichweite unserer Teleskope.

Wenn auf einem Schlachtfeld eine Granate platzt, fliegen die Bruchstücke mit verschiedenen Geschwindigkeiten, die schnellsten am weitesten. In einem bestimmten Augenblick nach der Explosion wird jeder Splitter eine Entfernung zurückgelegt haben, die genau proportional ist zu seiner Bewegungsgeschwindigkeit. Das kommt auf dasselbe hinaus, als wenn wir sagten, daß seine Geschwindigkeit proportional ist zu seiner Entfernung von dem Punkt, wo die Granate einschlug. Dies ist aber genau das Gesetz der fliehenden Nebel, so daß es fast so aussieht, als sei das ganze Universum irgendwann in der Vergangenheit einmal in Stücke zerrissen, und unser Milchstraßensystem wäre eines davon — das besondere, an das wir gebunden sind.

Es gibt jedoch noch eine andere Möglichkeit, die Bewegungen der Nebel zu erklären. Stellen wir uns eine Anzahl von Strohhalmen vor, die einträchtiglich einen Fluß hinunterschwimmen. Wenn der Fluß sich an einer Stelle verengert, schieben sie sich näher zusammen, und wo er wieder weiter wird, treiben sie weiter auseinander. Wenn das letztere eintritt, wird ein Insekt, das auf einem der schwimmenden Strohhalme lebt, feststellen, daß die anderen sich alle von ihm entfernen. Und wenn der Fluß gerade vorher eine sehr enge Schlucht passiert hat, wird ihre Geschwindigkeit dabei genau proportional ihrem Abstand sein, was wiederum mit dem Gesetz der Nebel übereinstimmt.

Damit haben wir zwei mögliche Erklärungen der Bewegungen der Nebel, die sehr ähnlich aussehen und

doch von Grund aus verschieden sind. Wenn wir die Nebel mit den Sprengstücken einer geplatzten Granate vergleichen, stellen wir uns vor, daß sie sich durch den Raum bewegen. Vergleichen wir sie dagegen mit den in einem Fluß schwimmenden Strohhalmen, so stellt der Fluß den Raum selbst dar; die Nebel bewegen sich dann nicht durch den Raum, sondern mit dem Raum — sie sind die Strohhalme, welche uns die Richtung der Raumströmungen anzeigen, und das Gesetz, daß die Geschwindigkeit proportional der Entfernung ist, weist darauf hin, daß der Raum sich gleichförmig ausdehnt.

Wahrscheinlich ist die zweite Erklärung die beste, denn wir glauben jetzt, daß der Raum gekrümmt und rund und endich ist — ungefähr wie die Hülle eines Ballons. Wir dürfen den Raum nicht mit der Luft im Innern des Ballons vergleichen, sondern mit dem Gummi, das seine Oberfläche bildet. Demzufolge können wir im Raum unbegrenzt vorwärts wandern, genau wie eine Fliege unbegrenzt auf der Oberfläche des Ballons herumspazieren kann. Sie würde natürlich schließlich auf ihre eigenen Spuren zurückkommen, aber sie würde auf keine Hindernisse stoßen, die ihr das Weitergehen verwehrten.

Ebenso würden wir, nach der Meinung der heutigen Astronomen, niemals und durch nichts daran gehindert werden, weiter und weiter in den Raum hinauszureisen, nur daß wir früher oder später zu unserem Ausgangspunkt zurückkämen wie Drake, als er den Erdball umsegelte. Es erübrigt sich wohl zu sagen, daß es sinnlos wäre, den Raum umsegeln zu wollen — schon aus dem

einfachen Grund, weil das Leben zu kurz ist. Ein Lichtstrahl hätte vielleicht bessere Aussichten, denn er bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 18 Millionen Kilometern in der Minute und ist nicht auf ein Leben von „siebenzig oder, wenn es hoch kommt, achtzig Jahren“ beschränkt. Man glaubte in einer gewissen Zeit, ein hinreichend starkes Fernrohr möchte uns instand setzen, um die Welt herumzusehen und unsere Erde in dem Licht zu erblicken, das vor vielen Millionen Jahren aufgebrochen, um den ganzen Raum gereist und endlich zu seinem Ausgangspunkt zurückgekommen wäre. Zweifellos würde eine solche Erfahrung uns einen sehr direkten und überzeugenden Beweis von der Krümmung des Raumes geben, aber wir glauben nicht mehr, daß es möglich ist, so weit durch den Raum zu reisen, selbst wenn man es auf den Schwingen des Lichts tut. Die Astronomen haben verschiedene Methoden erdacht, um die Größe des gesamten Raumes abzuschätzen, und so sehr sie auch voneinander abweichen, in dem einen Punkt stimmen sie alle überein, daß der Raum viel zu groß ist, als daß wir uns träumen lassen dürften, um ihn herumsehen zu können. Das große Fernrohr auf dem Mount Wilson schaut so weit in den Raum hinein, daß es uns Sterne zeigt, deren Licht sich auf die Reise zu uns machte, als die Erde noch von den unheimlichen Tieren bewohnt war, die wir in unserem ersten Kapitel beschrieben haben, und mehr als 140 Millionen Jahre durch den Raum gewandert ist, um uns zu erreichen. Und trotzdem zeigt es uns nur einen winzigen Bruchteil des Raumes, einen so winzigen, daß er sich vielleicht zu

dem ganzen Raum verhält wie die Insel Wight zu der Oberfläche der Erde.

So sehen wir, daß der Raum nicht nur unvorstellbar groß ist, sondern auch noch beständig größer wird. Er verdoppelt seine linearen Dimensionen rund alle 1300 Millionen Jahre, so daß jetzt schon achtmal so viel Raum da ist als zu der Zeit, da die ältesten radioaktiven Gesteine sich verfestigten, und über hundertmal mehr als damals, wie die Erde aus der Sonne herausgerissen wurde. Mit jedem Pendelschlag der Uhr wächst der Durchmesser des Raums wenigstens um ein paar hunderttausend Kilometer.

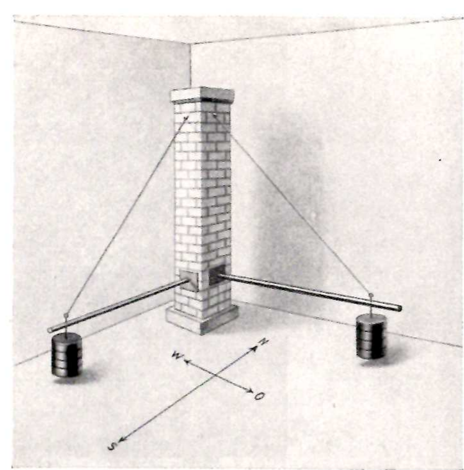
Aber wir interessieren uns wohl mehr für die Materie als für den leeren Raum. Selbst in dem winzigen Raumstückchen, das wir sehen können, gibt es einige Millionen Nebel, während sich in dem Teil, den wir nicht sehen können, wahrscheinlich Millionen mal Millionen von Nebeln befinden, deren jeder einige tausend Millionen Sterne enthält. Jeder Nebel enthält so viel Sterne, wie man Sandkörner in einer guten Handvoll Sand fassen kann, so daß die Sterne in allen Nebeln zusammen ungefähr ebenso zahlreich sind wie die Sandkörner an allen Küsten der Erde. Wenn wir das ungeheure Universum in seiner Totalität überschauen, schrumpft unsere Sonne zu einem Sandkorn zusammen und unsere Erde zu dem millionsten Teil eines Sandkornes — einem winzigen Stäubchen, das um ein Sandkorn kreist, welches eine Million mal größer als es selbst und dennoch in dem Universum als Ganzem nur verschwindend klein ist. Wir mögen uns daran ergötzen, daß die Welt eine so großartige Angelegenheit ist, aber wir können uns nicht schmeicheln, daß unsere irdischen Nöte darin von irgendwelcher Bedeutung sind.

So sieht das Universum aus, das wir bereist haben. Wenn es uns nicht möglich war, einen vollständigen kinematographischen Film von ihm zu drehen, so haben wir doch wenigstens eine Bilderfolge an uns vorbeigleiten sehen, die manche Züge seiner vergangenen Geschichte wiedergab. Wir erblickten zuerst eine uranfängliche Welt, die einzig aus einer Masse chaotischen Gases bestand. Vor unseren Augen verdichtete es sich allmählich zu Nebeln. Es ist sehr wahrscheinlich — wenn ich auch nicht glaube, daß es bereits bündig bewiesen ist —, daß eine solche Kondensation chaotischen Gases zu Nebeln bereits genügte, um die Ausdehnung des Raumes einzuleiten. Aber sei es nun aus diesem oder irgendeinem anderen Grund, jedenfalls begann der Raum sich auszudehnen, und das heißt, daß die Nebel sich, schon während sie entstanden und dann immer so fort, stetig weiter voneinander entfernten.

Während dieser ganzen Zeit verändert sich die Gestalt der Nebel auf die früher beschriebene Art, bis sie sich endlich zu einzelnen Sternen auflösen. Einer dieser Nebel war die Geburtsstätte unserer eigenen vertrauten Freunde, des Sirius, Aldebaran, Arktur usw., und auch eines viel kleineren und weniger glänzenden Himmelskörpers — unserer Sonne. Millionen von Jahren lang bewegen sich diese und Millionen anderer Sterne blindlings durcheinander, bis unsere Sonne in die Gefahrzone eines größeren Sterns gerät und eine Katastrophe eintritt, in deren Verlauf die Planeten geboren werden — darunter unsere Erde. Zunächst ist sie einfach ein Ball

heißen Gases, wie die Sonne jetzt, nur kleiner. Im Lauf der Zeit kühlt sie ab, verflüssigt sich und bildet schließlich eine feste Oberfläche; Dampf schlägt sich nieder als Wasser und bildet Meere und Ströme. Dann — das Rätsel aller Rätsel — erscheint das Leben. Es ist sehr bescheiden im Anfang, aber wird langsam vielfältiger und feiner, bis schließlich, nur ein paar Minuten sind seither vergangen auf der astronomischen Uhr, der Mensch auftritt und Stufe um Stufe die hohe steile Leiter der Zivilisation zu erklimmen beginnt. Doch erst während der allerletzten Pendelschläge dieser Uhr hat er angefangen, den Sinn des nächtlichen Schauspiels am Himmel zu erforschen. Ägypter, Chinesen, Babylonier und Griechen versuchten sich nacheinander an dem Rätsel. Die Uhr hat noch nicht wieder getickt, seit das Teleskop erfunden wurde und uns die Wege zu seiner Lösung zeigte. In dieser kurzen Spanne ist alles entdeckt worden, was ich hier erzählt habe, und noch viel tausendmal mehr. Und wenn unsere Kenntnis des Himmels in diesem Tempo weiterwächst, wer will da sagen, was für wunderbare Überraschungen das nächste Tack der Uhr für uns bereithalten mag?

TAFELN



J. J. Shaw

Abb. 3. Die wesentlichen Teile eines Seismographen. Jede Vibration der Erde überträgt sich auf den Backsteinpfeiler und erzeugt winzige Ausschläge der beiden Hebelarme. Diese Schwingungen werden mechanisch vergrößert und auf Papierstreifen aufgezeichnet wie in Abbildung 4

J. J. Shaw

Abb. 4. Teil eines Seismogramms. Die großen Wellen rechts in der zweiten Reihe von oben rühren von einem wirklichen Erdbeben von beträchtlicher Stärke her. Alle andern stellen ein bloßes Zittern dar, wie Wind, Meereswellen oder Straßenverkehr es erzeugen. Die Zahlen bedeuten Minuten



Geologisches Museum

Abb. 5. Schichten von schwarzem Schiefer und Kalkstein an der Südwestspitze der Insel Kerrera gegenüber Oban, an denen die Faltung gut erkennbar ist. Der geologische Hammer links zeigt die Größenverhältnisse; aber dieselbe Erscheinung tritt in tausendmal größerem und ebenso in tausendmal kleinerem Maßstab auf



Geologisches Museum

Abb. 6. Lava südlich von Ballantrae an der Küste von Ayrshire. Sie ist vor vielleicht 400 Millionen Jahren ins Meer hinuntergeflossen und sofort in der Gestalt erstarrt, die sie bis zum heutigen Tage behalten hat



Geographie der Grafschaft Cambridge

Abb. 8. Schutthalden am Ostabhang von Wastwater, Cumberland



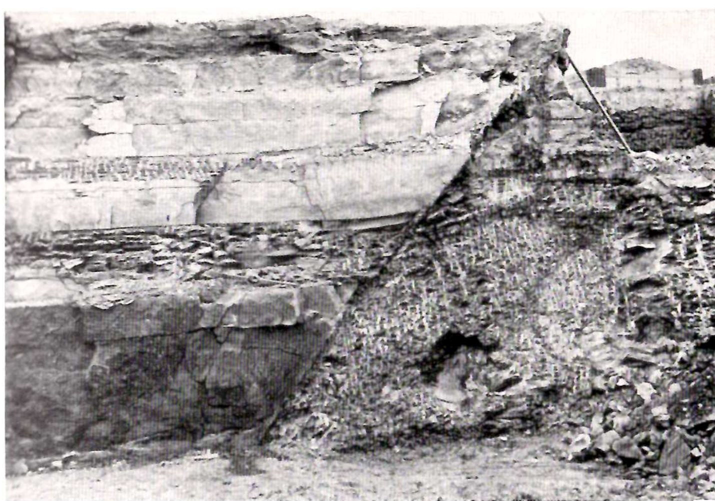
Geologisches Museum

Abb. 9. Horizontale Strata von Kalkstein am Eglwyseg, dreieinhalb Kilometer nördlich von Llangollen



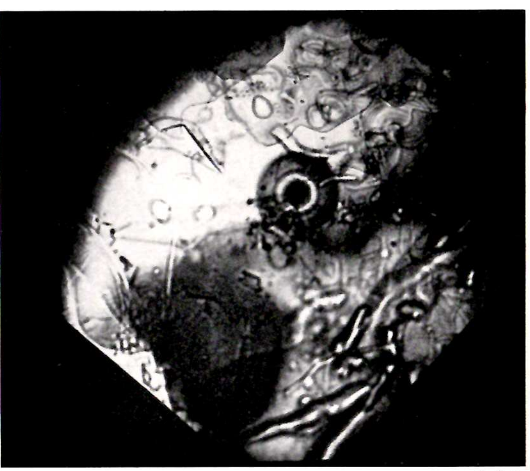
Harvard University Press

Abb. 10. Die Nordseite des Colorado Canyons mit Schichten alter Sedimentgesteine, die in regelmäßiger Formation übereinander liegen



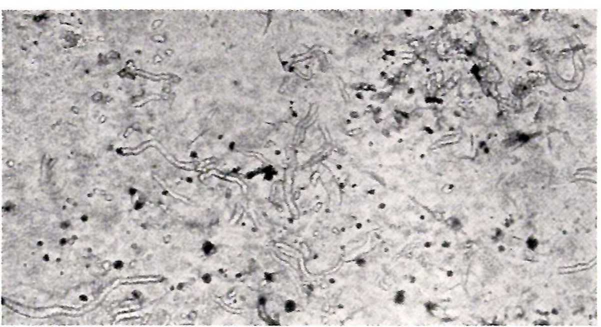
Geologisches Museum

Abb. 13. Schichten in Sandstein bei den Clydesdale Eisen- und Stahlwerken, Mossend, Lanark, die durch eine Verwerfung unterbrochen sind



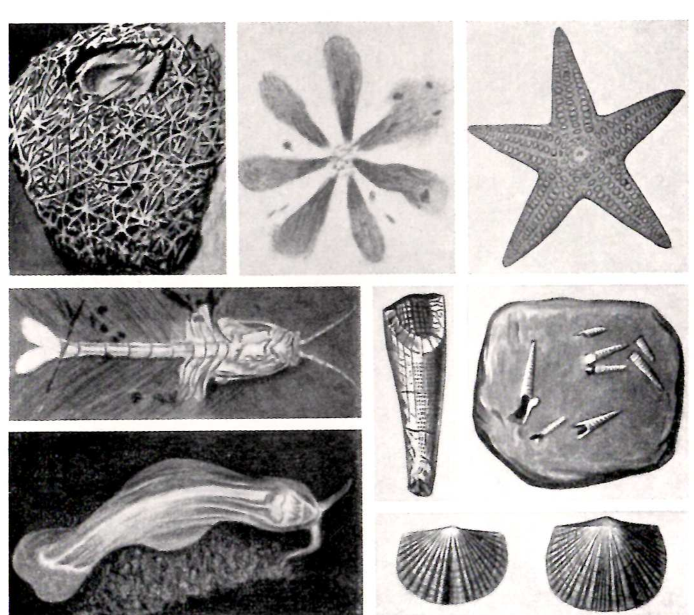
J. Joly

Abb. 14. Der Halo einer winzigen Menge radioaktiver Substanz in Glimmerschiefer. Eine Mikrophotographie in mehr als 200facher Vergrößerung



Harvard University Press

Abb. 15. Die ältesten bekannten Fossilien, mikroskopische Algen. Die Photographie zeigt eine Steintafel, die so dünn geschnitten ist, daß sie durchsichtig ist. Etwa 190fache Vergrößerung



Aus Harmsworth, „Universal History of the World“

Abb. 16. Fossilien in Gestein aus dem Cambrium. Sie stellen sehr primitive Lebensformen dar — Schwämme, Quallen, Seesterne, Erdwürmer und Korallen —, von denen einige in nicht sehr veränderter Gestalt noch heute vorkommen



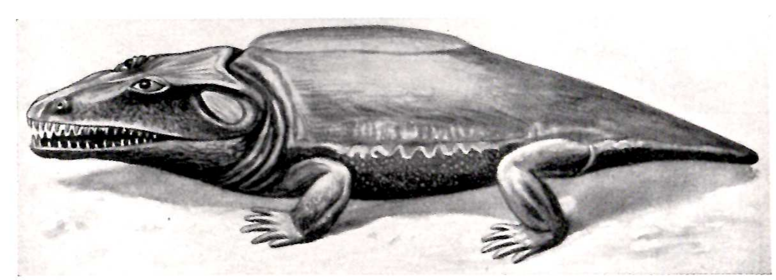
„Universal History of the World“

Abb. 17. Fossilien aus dem Silur, vor etwa 450 Millionen Jahren. Man nennt diese Erdepoche auch das Zeitalter der Seelilien, weil Geschöpfe der hier gezeigten Art in so dichten Massen auf dem Meeresboden wuchsen, daß ihre fossilen Überreste heute dicke Kalksteinlager bilden. Die Seelilien sind nicht eigentlich Pflanzen, sondern gleichen eher unseren Seesternen oder Seeanemonen



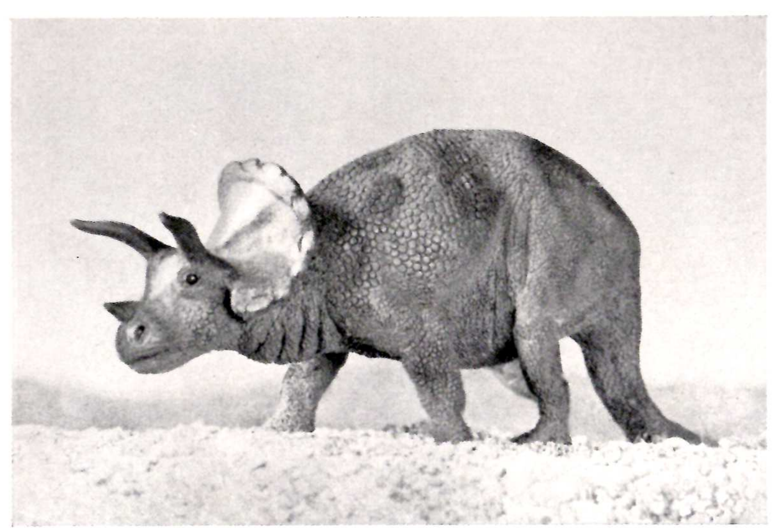
W. E. Swinton, „Urzeitliche Ungeheuer"

Abb. 18. Dimetrodon Gigas, eineriesenhafte, plumpe fleischfressende Eidechse von $2^{3}/_{4}$ m Länge, die vor 250 Millionen Jahren in Nordamerika lebte



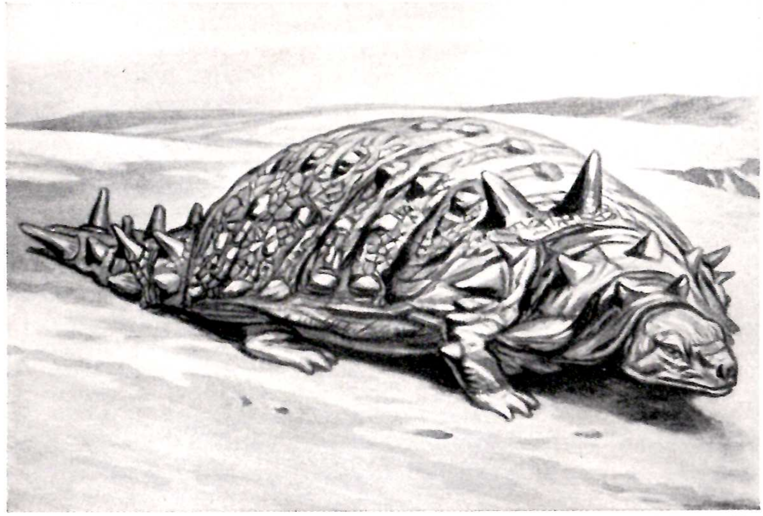
„Universal History of the World"

Abb. 19. Cacops Aspidophorus, eines der Reptilien, die während der großen Dürre vor etwa 200 Millionen Jahren auf das Festland übersiedelten



W. E. Swinton, „Die Dinosaurier"

Abb. 20. Der Triceratops Prorsus lebte vor etwa 90 Millionen Jahren in Nordamerika. Er war ein Pflanzenfresser, 7,5 m lang, mit einem Schädel wie ein Elefant und einem Gehirn, nicht größer als dem einer jungen Katze



„Universal History of the World"

Abb. 21. Der Scolosaurus lebte in Kanada vor ungefähr 90 Millionen Jahren. Seine einzige Waffe zur Verteidigung wie zum Angriff scheint sein knorpeliger Schwanz gewesen zu sein



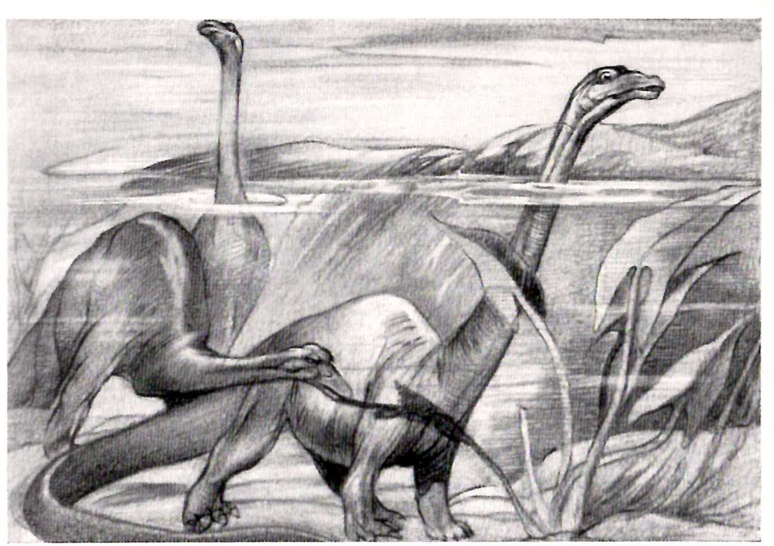
Britisches Museum (Naturgeschichte)

Abb. 22. Pteranodon Occidentalis, ein geflügeltes Reptil, das vor etwa 90 Millionen Jahren in Nordamerika lebte. Seine Flügel, mit einer Spannweite von 5,5 m, bestanden aus dünnen Hautgeweben, die sich vom fünften Finger der Arme bis zu den Hinterfüßen ausspannten



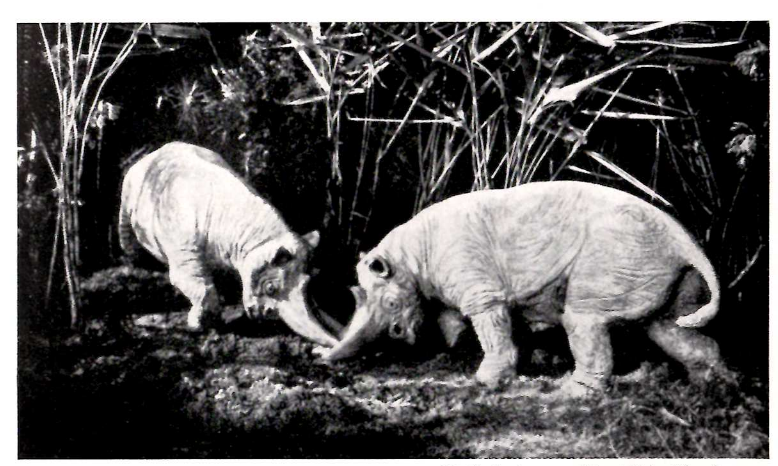
W. E. Swinton, „Die Dinosaurier"

Abb. 23. Diplodocus. Diese ungeheure Echse lebte vor etwa 90 Millionen Jahren in Nordamerika. Den Hauptteil ihrer gewaltigen Länge von 27 m macht ihr langer Hals und ihr mächtiger peitschenartiger Schwanz aus



Britisches Museum (Naturgeschichte)

Abb. 24. Cetiosaurus oder Walfisch-Reptil. Ein englischer Verwandter des Diplodocus, den wir auf Abbildung 23 gesehen haben. Er war ungefähr 18 m lang und entsprechend schwer



W. E. Swinton, „Urzeitliche Ungeheuer"

Abb. 25. Das Arsinoitherium lebte vor einigen 25 Millionen Jahren in Ägypten. Sein Äußeres erinnert an einen Elefanten, aber sonst steht es eher einem Rhinozeros nahe.



„Universal History of the World"

Abb. 26. Machaerodus, der säbelzahnige Tiger, war ein entfernter Verwandter der Hauskatze



W. E. Swinton, „Urzeitliche Ungeheuer"

Abb. 27. Das Megatherium oder Riesenfaultier war ein Pflanzenfresser, etwa 6 m lang und 3,5 m hoch, wenn es sich auf die Hinterbeine setzte, um zu den Zweigen der Bäume hinaufzureichen



C. J. P. Cave, „Wolken"

Abb. 30. Zirrus-Wolken. Diese höchsten Wolken befinden sich gewöhnlich in Höhen von $6^1/_2$ bis $9^1/_2$ km und bestehen aus winzigen Eiskristallen



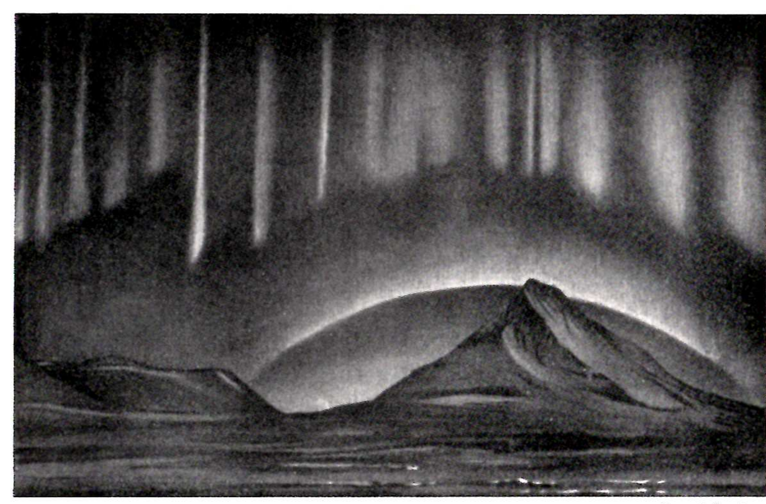
C. J. P. Cave, „Wolken"

Abb. 31. Wolken und Nebel im Rhonetal. Über den Bergen stehen Cumulus- und Stratus-Wolken; von den letzteren sagt man wohl auch, sie seien Nebel, der nicht auf dem Boden aufliegt. Das Tal selbst ist mit Nebel gefüllt, den man umgekehrt als eine Wolke bezeichnen könnte, die bis zum Boden hinunterreicht



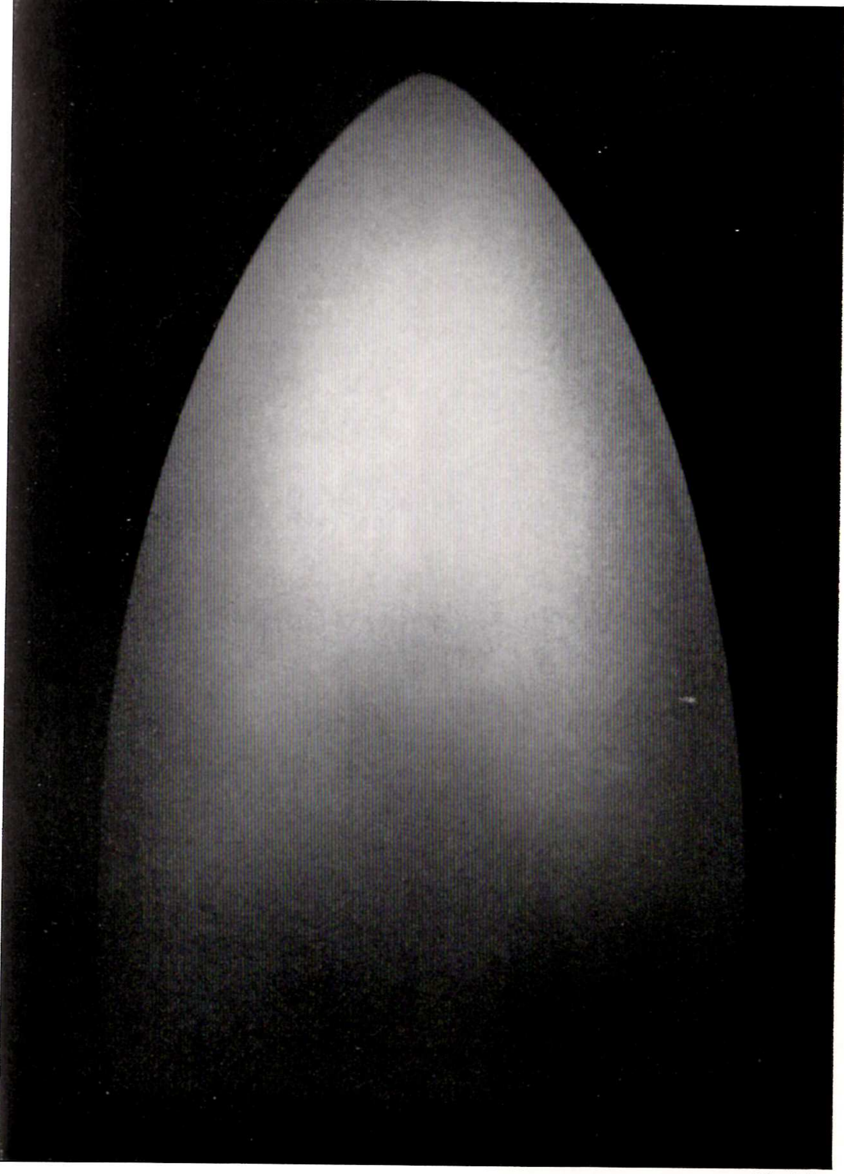
Royal Society

Abb. 32. Ein besonders schön ausgebildetes Beispiel der sog. drapierten Aurora Borealis, das auf Kapitänleutnant Scotts antarktischer Expedition beobachtet wurde. Die drapierten Auroren pflegen die farbenprächtigsten zu sein; Weiß, Gelb und Karminrosa sind die häufigsten Töne



Royal Society

Abb. 33. Eine Aurora von anderem Typus, die aus einem runden Bogen mit senkrechten Ausstrahlungen besteht. Ebenfalls auf Kapitänleutnant Scotts antarktischer Expedition beobachtet



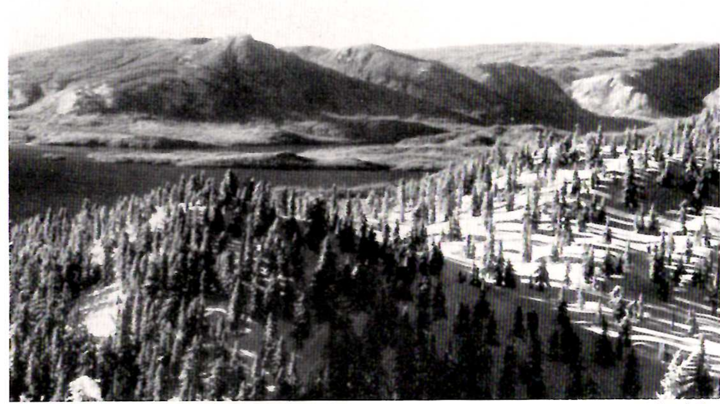
Ilford Co.

Abb. 35. Ein elektrisches Bügeleisen, photographiert mittels seiner eigenen Wärmestrahlung bei einer Temperatur von nur 400°, bei welcher es kein sichtbares Licht aussendet



Ilford Co.

Abb. 36. Die Insel Bowen in British Columbia, photographiert bei gewöhnlichem Tageslicht von einem 19 km entfernten Punkt auf dem Festland



Ilford Co.

Abb. 37. Dieselbe Landschaft wie oben, photographiert mit infrarotem Licht



Helwan Sternwarte

Abb. 38. Der Brooksche Komet (1911)



E. E. Barnard, Yerkes Sternwarte

Abb. 39. Der Komet III von 1908. Die Bilder der Sterne sind zu kleinen Strichen ausgezogen, weil das Fernrohr der Bewegung des Kometen folgte, welcher an den Sternen vorüberglitt



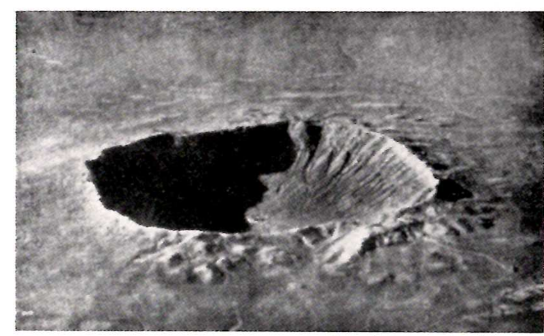
W. T. Gordon

Abb. 44. Der gewaltige Hoba-Meteorit, der schätzungsweise 60 Tonnen wiegt



W. T. Gordon

Abb. 45. Ein Haufe von Eisenmeteoriten, die im Gibeon-Distrikt in Südwestafrika gesammelt sind



Royal Geographical Society

Abb. 46. Meteorkrater bei dem Diablo Canyon in Arizona. Die Aufnahme ist vom Flugzeug aus gemacht, von Nordwesten und fast genau aus der Richtung, in welcher sich, wie man annimmt, der Meteor bewegte, als er auf die Erde stieß



Royal Geographical Society

Abb. 47. Die Flugzeugaufnahme auf Abb. 46 vermittelt keine angemessene Vorstellung von der ungeheuren Größe des Meteorkraters. Abb. 47 zeigt den höchsten Punkt seines Randes, Barringer Point, mit einem Mann zu Pferd auf dem Gipfel, um den Maßstab anzudeuten



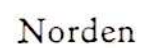
A. R. Alderman

Abb. 48. Die Henburykrater in Zentralaustralien. Allgemeine Ansicht des Hauptkraters aus der Vogelperspektive



A. R. Alderman

Abb. 49. Eine andere Ansicht von dem Inneren desselben Kraters



Norden



Süden

Puiseux, Pariser Sternwarte

Abb. 50. Der Mond $12^{1}/_{2}$ Tage nach Neumond, photographiert mit einem 60-cm-Teleskop. Teile der Mondoberfläche sind mit mehr Einzelheiten auf den Tafeln XXII—XXV abgebildet



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 51. Ein Teil der nördlichen Hälfte des Monds, den man leicht auf Tafel XXI identifizieren kann. Das große „Meer“ in der Mitte der Tafel ist Mare Imbrium; die Bergkette, von der es im Südosten eingefaßt wird, sind die Apenninen. An ihrem Südende liegt der große und tiefe Krater Eratosthenes; weiter unten links der noch gewaltigere Krater Kopernikus, der in größerem Maßstab auf Tafel XXV abgebildet ist



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 52. Ein Teil der südlichen Hälfte des Monds. Das „Meer“, das etwa einen Zentimeter vom linken Rand entfernt ist, wird man ohne weiteres mit dem südlichsten Meer auf Tafel XXI identifizieren; es ist das Mare Humorum. Rechts von ihm liegt das größere Mare Nubium



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 53. Ein Teil des Mondrandes, den man leicht in der unteren Hälfte von Tafel XXI wiedererkennen wird. Das „Meer" am linken Rand der Abbildung ist das Mare Nectaris; rechts von ihm liegt das Mare Foecunditatis und darüber eine tiefe Bucht des Mare Tranquilitatis



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 54. Detail des Kraters Kopernikus, der 73 km Durchmesser hat. Man wird ihn leicht am unteren Rand von Tafel XXII wiederfinden. Abb. 58 auf Tafel XXVIII mag uns eine Vorstellung davon geben, wie der Krater einem Wanderer auf dem Mond erscheinen würde



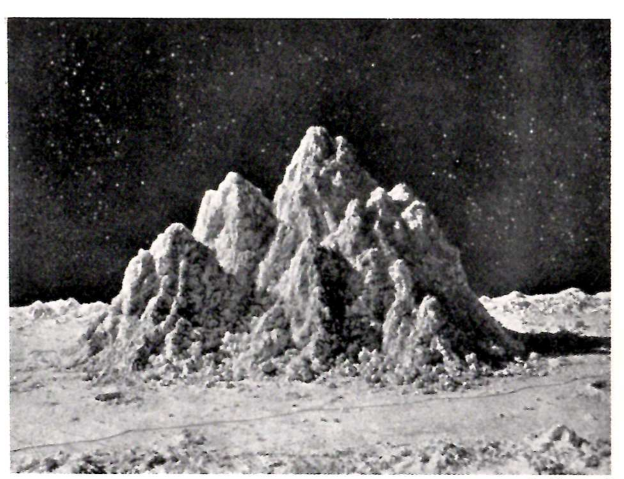
James Nasmyth

Abb. 55. Schräg durch die untere Hälfte des Bildes erstrecken sich die Mondapenninen; über ihnen liegt der große Krater Archimedes. Die ganze Formation ist leicht wiederzuerkennen auf der rechten Seite der Photographie von Tafel XXII



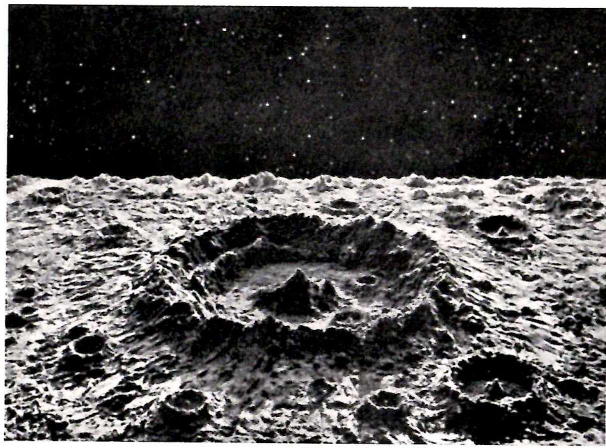
J. Nasmyth

Abb. 56. Der große Krater links ist der Plato; die Furche ein wenig weiter unten rechts heißt das Alpental. Beides ist leicht wiederzuerkennen im oberen rechten Teil der Photographie von Tafel XXII



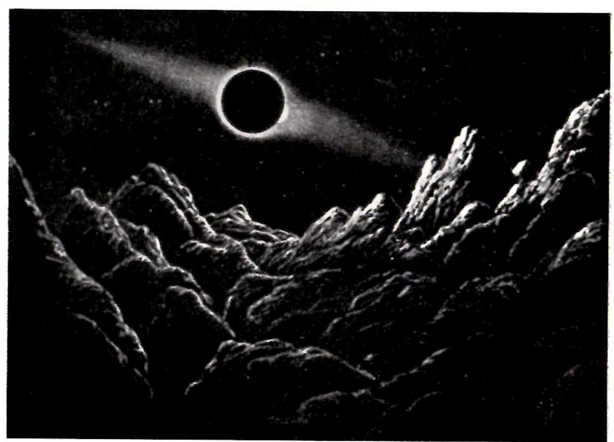
J. Nasmyth

Abb. 57. Der einzelstehende Berg, den man auf der Abb. 56 oder der Tafel XXII südlich des Kraters Plato sieht, heißt der Pico. Er steigt unmittelbar aus der Ebene zu einer Höhe von 2400 m auf und würde einem Wanderer auf dem Mond etwa so erscheinen wie auf dieser Zeichnung



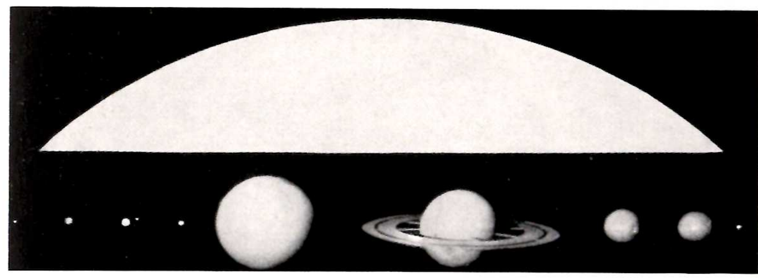
Nasmyth und Carpenter, „Der Mond“

Abb. 58. Diese Zeichnung soll keinen besonderen Mondkrater darstellen, sondern ist typisch für die Art der Landschaft in Gegenden, wo die ganze Mondoberfläche von Kratern verschiedener Größe bedeckt ist



Nasmyth und Carpenter, „Der Mond“

Abb. 59. Eine typische Landschaft in einer bergigen Gegend des Monds in einem Augenblick, in welchem die Sonne gerade von der Erde verfinstert wird. Der helle Ring um die Erde rührt von der Erdatmosphäre her; das Lichtband ist das Zodiakallicht.



Carnegie-Institut

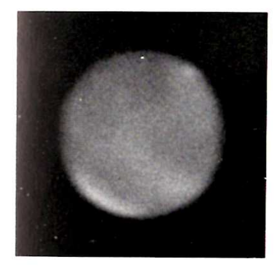
Abb. 60. Relative Größe der Sonne (oben) und der Planeten (unten) des Sonnensystems. Die Planeten sind von links nach rechts in der Reihenfolge ihres Abstandes von der Sonne angeordnet: Merkur, Venus, Erde (mit ihrem Mond), Mars, Jupiter, Saturn (mit seinen Ringen), Uranus, Neptun, Pluto

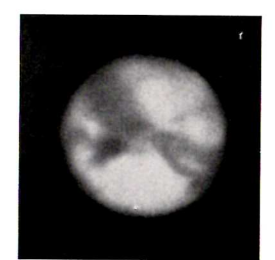


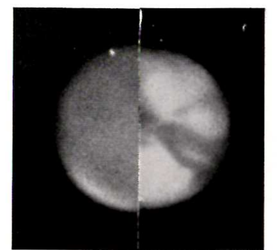


W. H. Wright, Lick Sternwarte

Abb. 61. Venus in ultraviolettem Licht (links) und in infrarotem Licht (rechts)

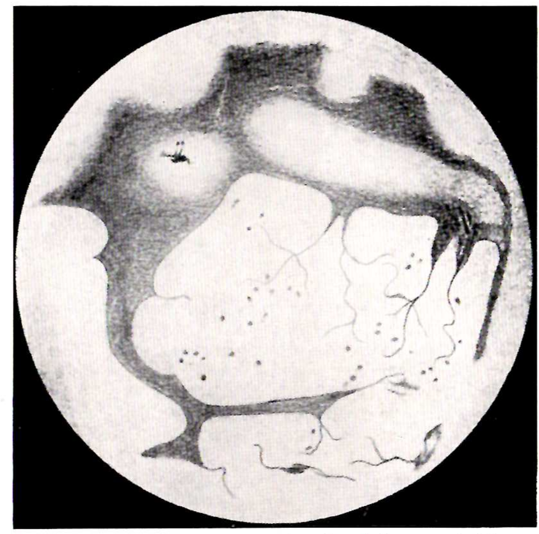






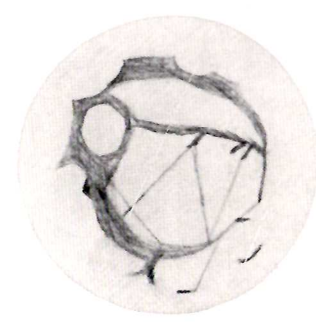
W. H. Wright, Lick Sternwarte

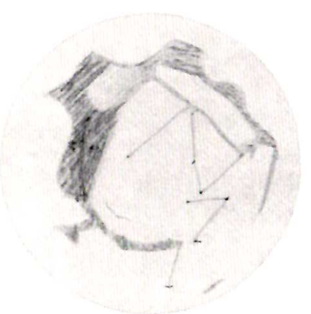
Abb. 62. Mars in ultraviolettem Licht (links) und in infrarotem Licht (Mitte). Das zusammengesetzte Bild rechts zeigt, daß das ultraviolette Bild größer ist als das infrarote; der Größenunterschied rührt von der Marsatmosphäre her



Royal Astronomical Society

Abb. 63. Ein Versuch, nachzuprüfen, ob die Kanäle tatsächlich existieren, die einige Astronomen auf dem Mars sehen zu können glauben. Die obige Zeichnung wurde einer Klasse von Schuljungen vorgelegt mit der Aufforderung, zu zeichnen, was sie vor sich sähen





Royal Astronomical Society

Abb. 64. Viele Jungen brachten kanalartige Linien in ihrer Zeichnung an, obgleich auf dem Bild, das sie abzeichnen sollten, nichts davon vorhanden war. Hier sind zwei dieser Zeichnungen wiedergegeben

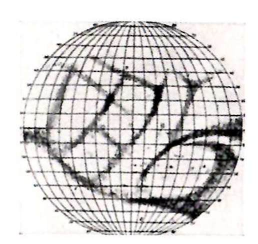


Abb. 65. Einzelheiten auf der Oberfläche des Merkur nach einer Zeichnung von Schiaparelli

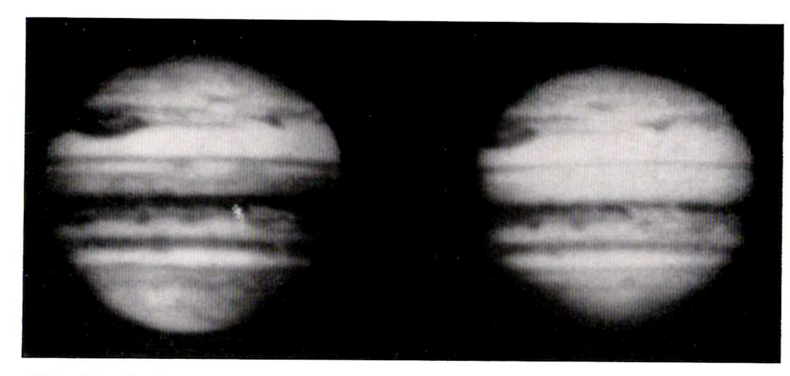


Abb. 66. Jupiter, photographiert mit ultraviolettem Licht (links) und blauem Licht (rechts)

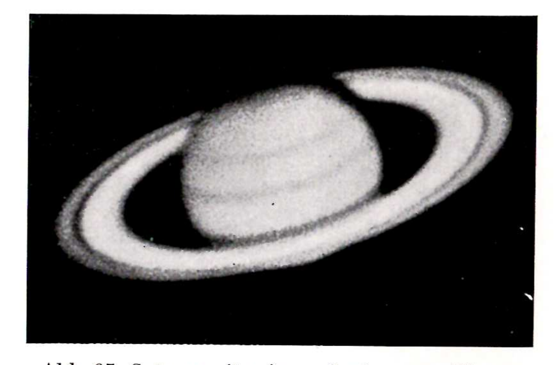
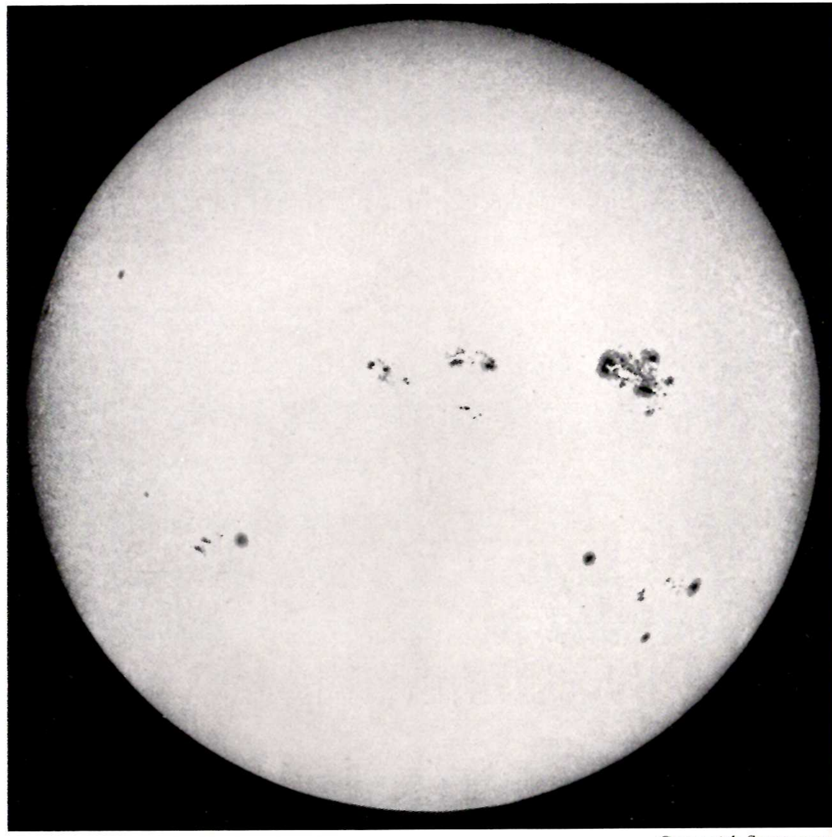
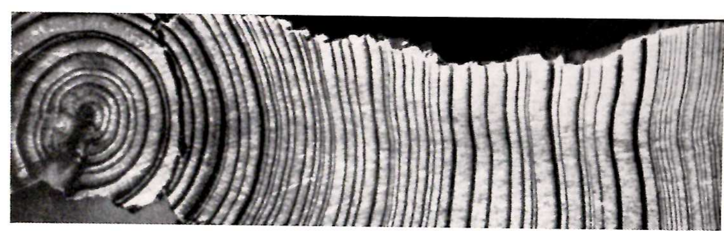


Abb. 67. Saturn mit seinem System von Ringen



Greenwich Sternwarte

Abb. 69. Aufnahme der Sonne am 12. August 1917 mit sehr zahlreichen und komplizierten Sonnenflecken, die in ihrer Gesamtheit das größte seit 1870 beobachtete Areal bedecken

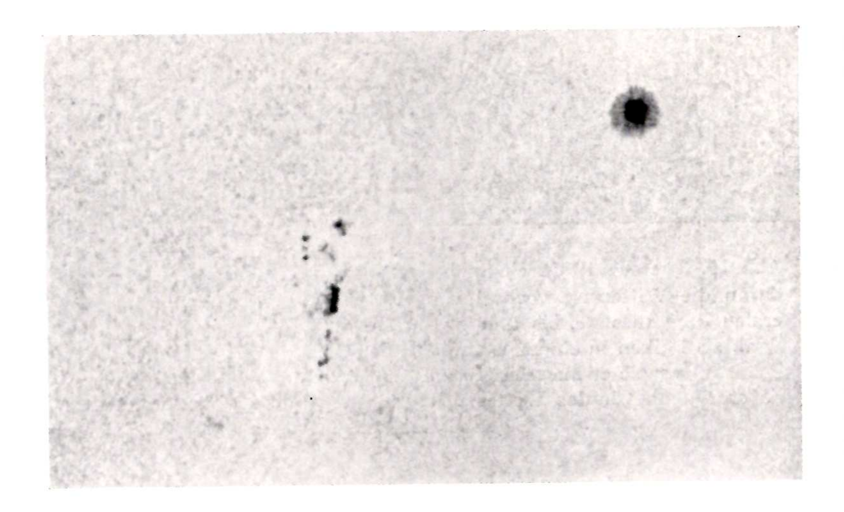


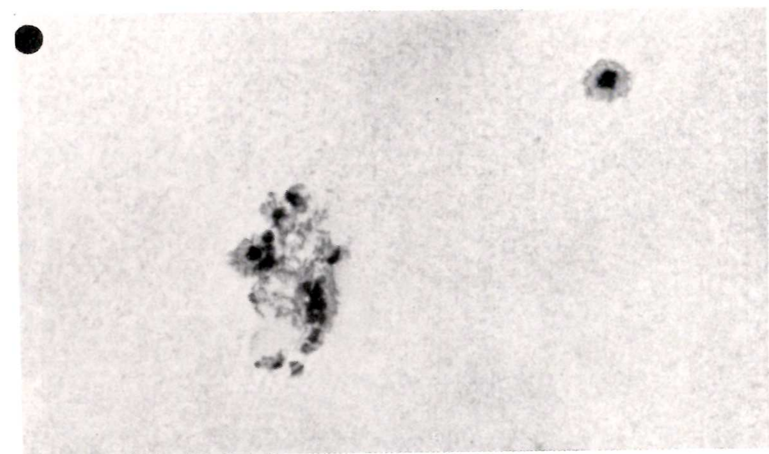
A. E. Douglass

Abb. 70. Querschnitt durch einen Douglass-Fichtenbalken. Man sieht daran die Witterungswechsel von 1073 n. Chr., als der Baum den ersten Ring ansetzte, bis 1260 n. Chr., als er gefällt wurde. Er wurde dann als Balken in einem Wohnhaus benützt, das später in Trümmer fiel. 1933 wurde er ausgegraben und untersucht. Er ist von Interesse, da er Zeugnis für das Wetter während der zwei Jahrhunderte seines Wachstums ablegt



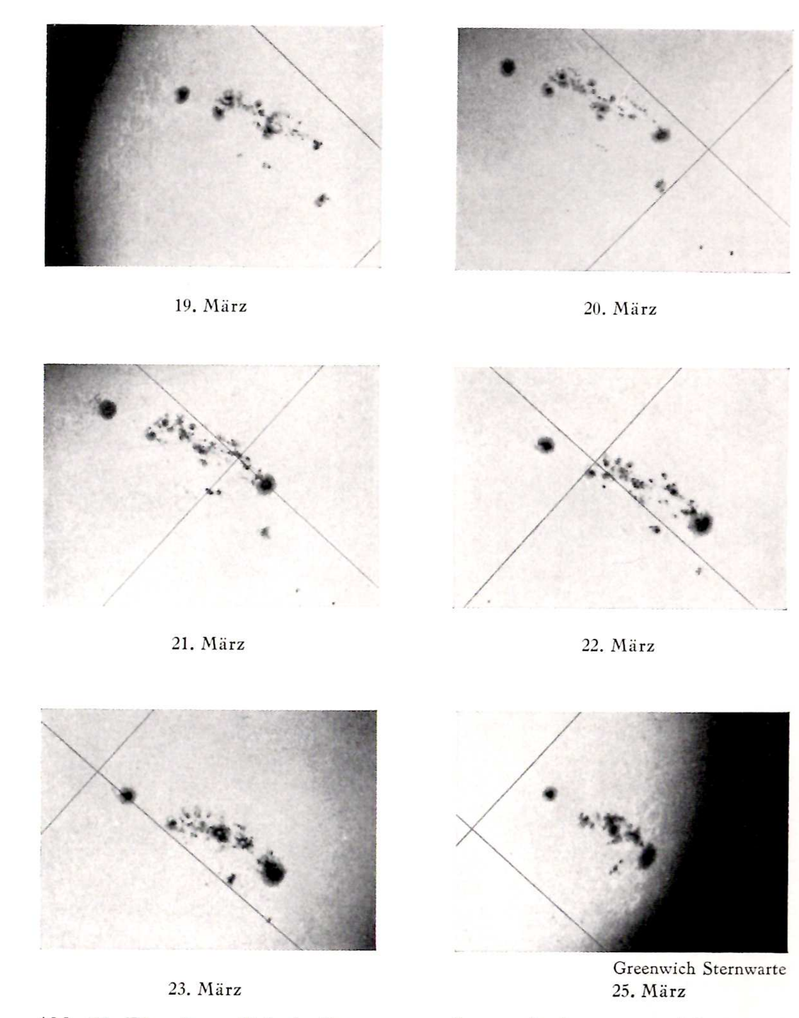
Abb. 71. Querschnitt durch eine bei Eberswalde in Deutschland gefällte schottische Kiefer. Die durch schwarze Punkte bezeichneten Ringe sind in den Jahren angesetzt, in welchen es während des Zeitraums von 1830 bis 1906 am meisten Sonnenflecken gab





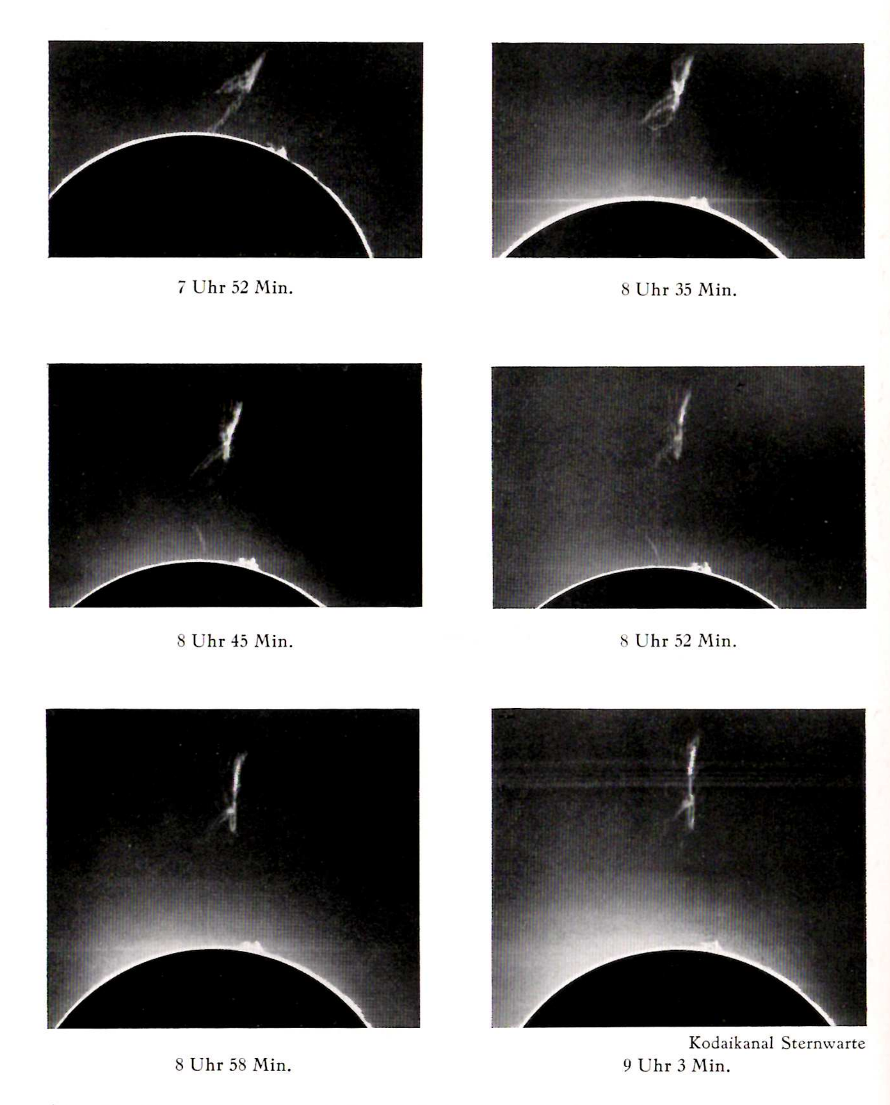
Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 73. Entwicklung einer Gruppe von Sonnenflecken in einem Zeitraum von 24 Stunden. Der schwarze Kreis auf der unteren Aufnahme gibt die relative Größe der Erde an



Greenwich Sternwarte

Abb. 74. Eine komplizierte Gruppe von Sonnenflecken, an welcher man Bewegung und Entwicklung, sowie das Fortrücken auf der Sonnenscheibe während eines Zeitraums von sechs Tagen (19.—25. März 1920) wahrnehmen kann



7 Uhr 52 Min.

8 Uhr 35 Min.

8 Uhr 45 Min.

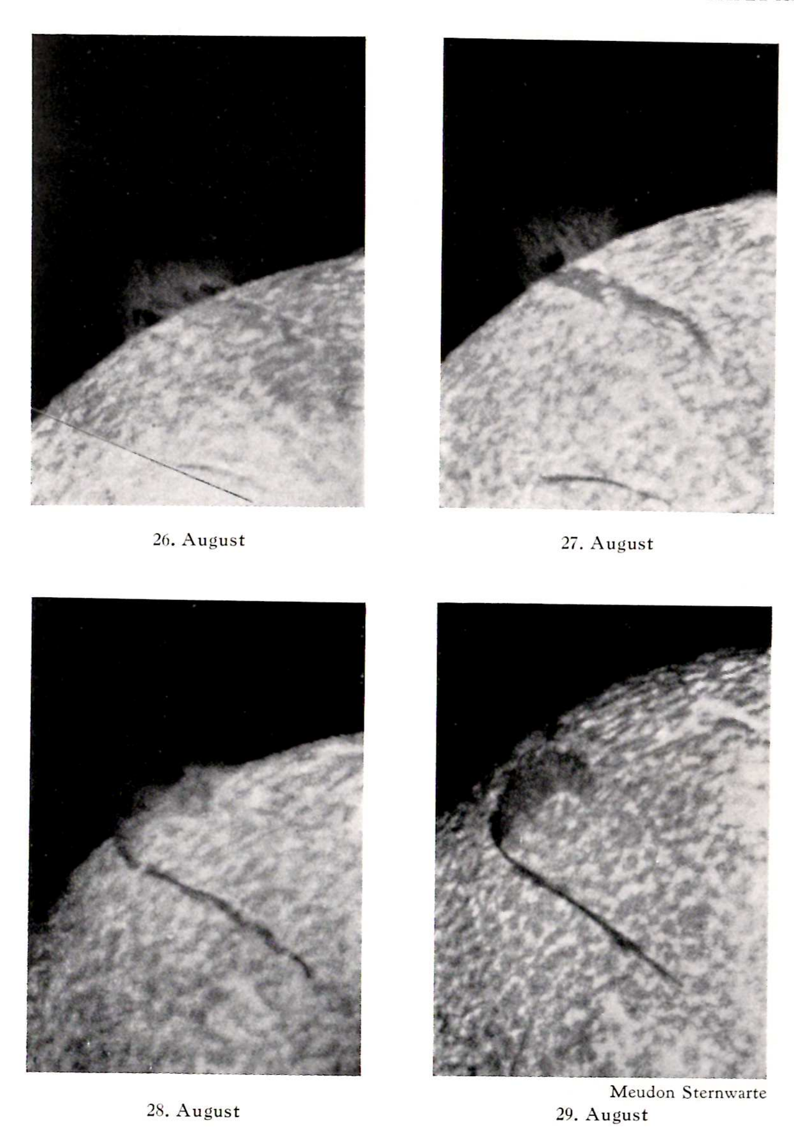
8 Uhr 52 Min.

8 Uhr 58 Min.

Kodaikanal Sternwarte

9 Uhr 3 Min.

Abb. 75. Eine am 19. November 1928 beobachtete Protuberanz, die in weniger als zwei Stunden eine Höhe von 907 000 km erlangte



26. August

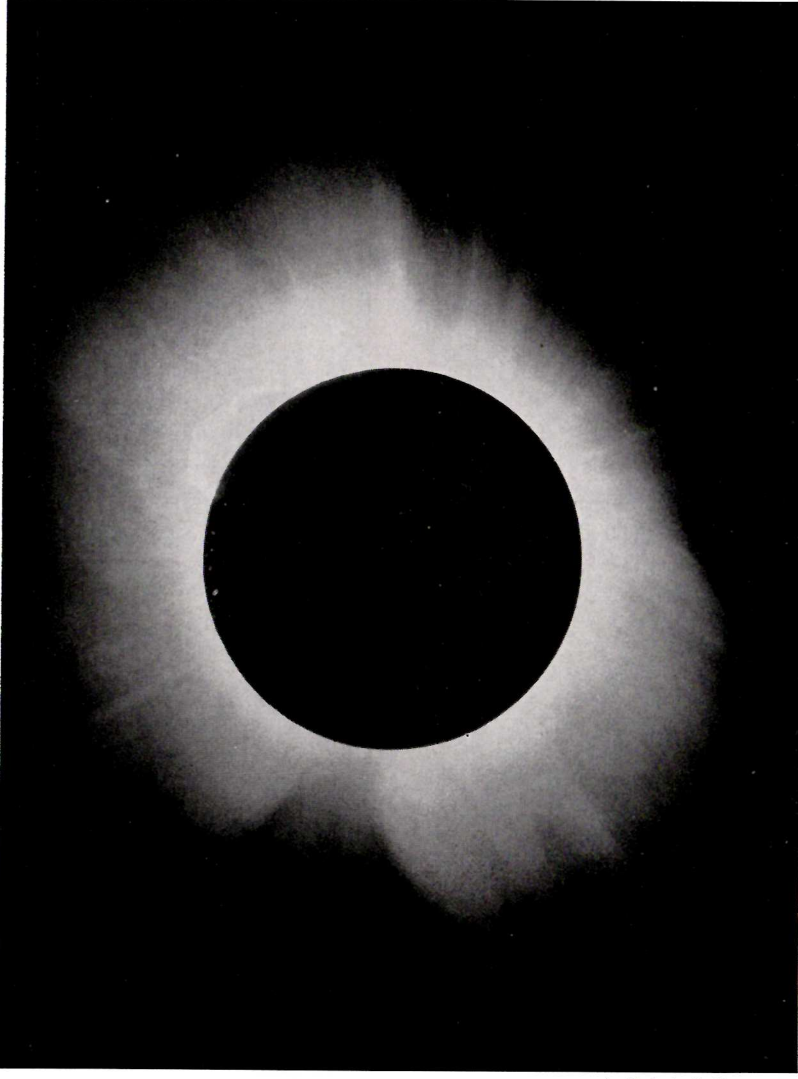
27. August

28. August

Meudon Sternwarte

29. August

Abb. 76. Entwicklung einer Protuberanz, die sich auf die Sonnenscheibe hinaufbewegt. Die Aufnahme wurde mit Kalziumlicht (K_3) 1929 an vier aufeinanderfolgenden Tagen gemacht



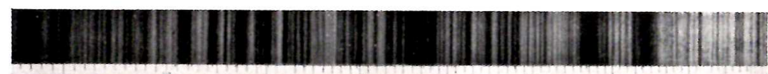
A. C. de la C. Crommelin

Abb. 77. Die Sonnenkorona nach einer Aufnahme bei der Sonnenfinsternis am 29. Mai 1919. Am linken oberen Rand ist durch das Licht der Korona hindurch schwach eine Protuberanz sichtbar (vgl. Abb. 78 auf Tafel XXXIX)



A. C. de la C. Crommelin

Abb. 78. Dieselbe Aufnahme wie Abb. 77, aber mit kürzerer Expositionsdauer. Die Protuberanz am linken oberen Rand ist hier ganz deutlich sichtbar; sie hat eine Länge von über 400 000 km



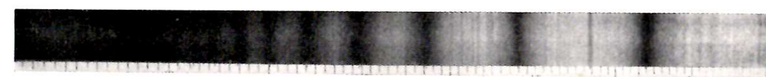
W. Huggins

Abb. 79. Spektrum der Sonne



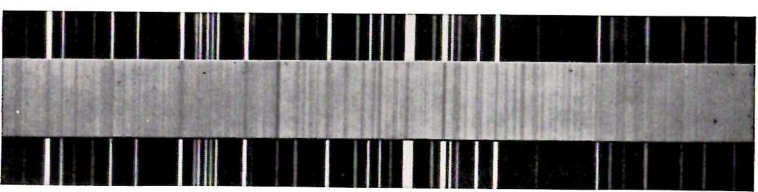
W. Huggins

Abb. 80. Spektrum der Vega



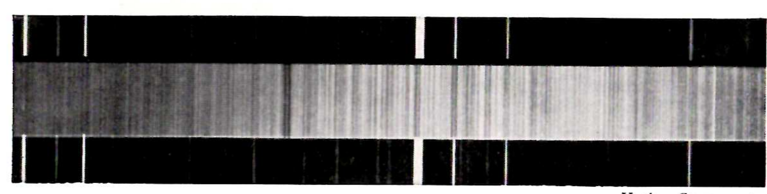
W. Huggins

Abb. 81. Spektrum des Sirius



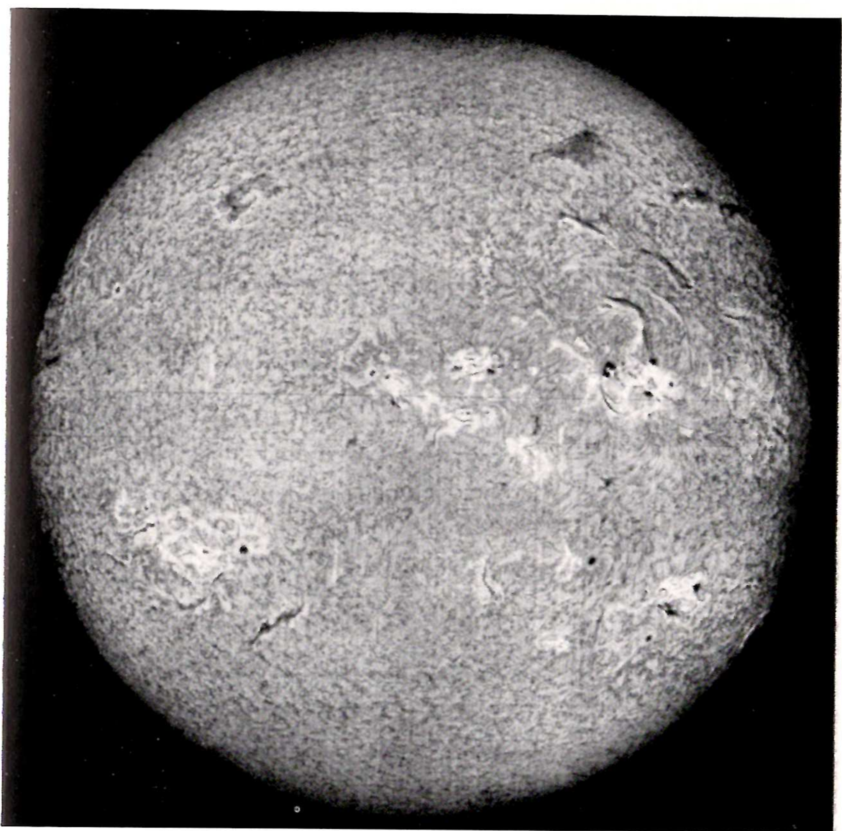
Yerkes Sternwarte

Abb. 82. Spektrum von ζ Ursae Majoris. Das mittlere Band ist das Spektrum des Sterns; das obere und das untere Band sind irdische Spektra, die zum Vergleich hinzugefügt sind, um die Identifikation der Linien zu erleichtern



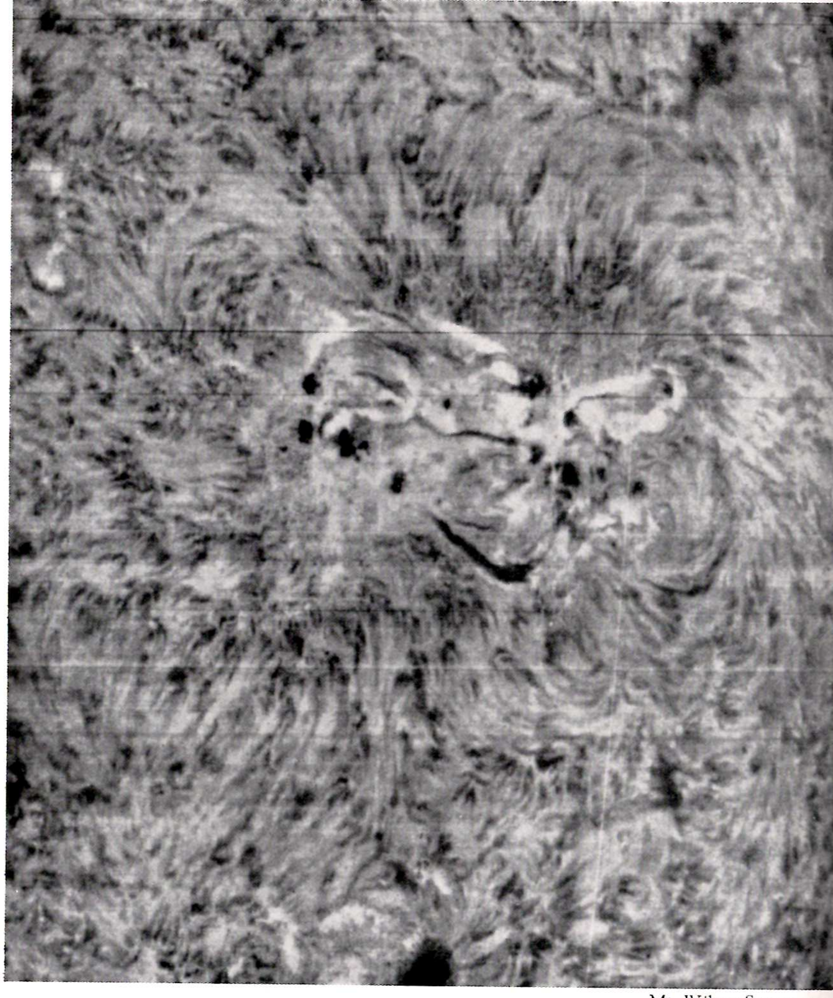
Yerkes Sternwarte

Abb. 83. Spektrum von ζ Ursae Majoris. Das mittlere Band stellt das Spektrum desselben Sterns in einem späteren Zeitpunkt dar. Jede Linie in dem Spektrum ist jetzt verdoppelt, woraus hervorgeht, daß es sich um einen Doppelstern handelt (siehe S. 225)



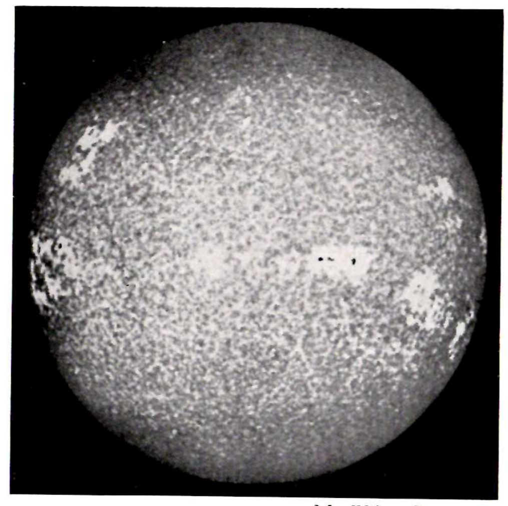
Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 84. Aufnahme der Sonne mit Wasserstofflicht (Hα). Diese Aufnahme wurde gleichzeitig mit der auf Tafel XXXII gemacht



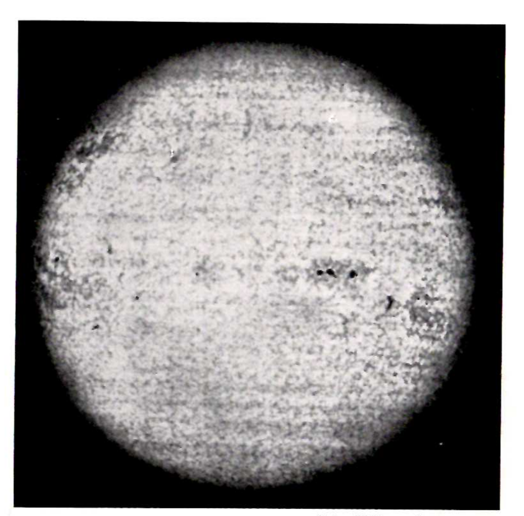
Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 85. Eine komplizierte Gruppe von Sonnenflecken, photographiert mit Wasserstofflicht ($H\alpha$)



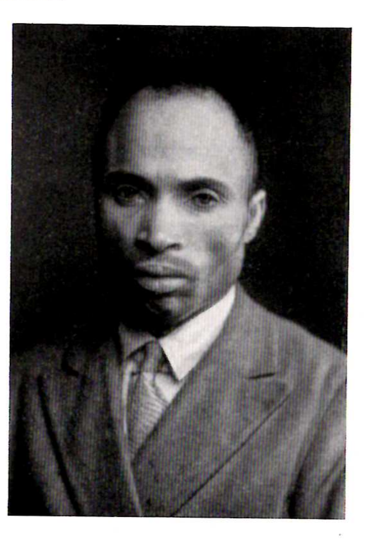
Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 86. Aufnahme der Sonne mit Wasserstofflicht ($H\delta$)



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 87. Aufnahme der Sonne mit Kalziumlicht (H_2). Die beiden Aufnahmen auf dieser Tafel wurden gleichzeitig gemacht





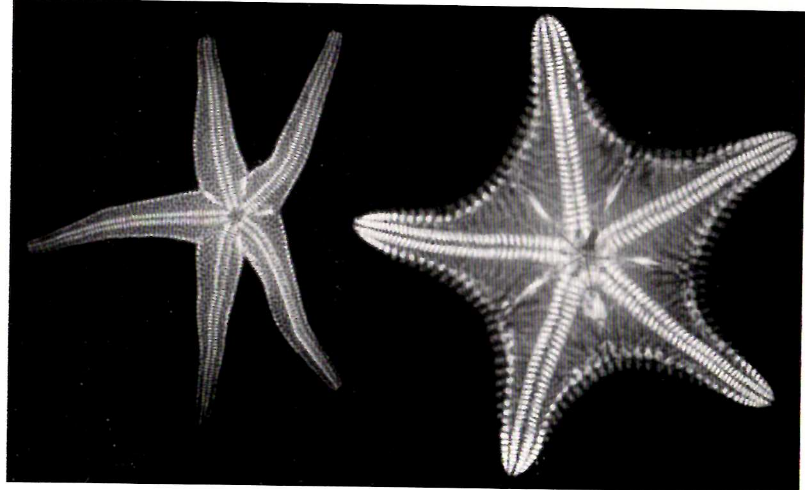
Ilford Co.

Abb. 88. Photographie eines Hottentotten, einmal mit infrarotem und einmal mit gewöhnlichem Licht. Das charakteristische dunkle Pigment ist, wie man sieht, durchlässig für infrarote Strahlung



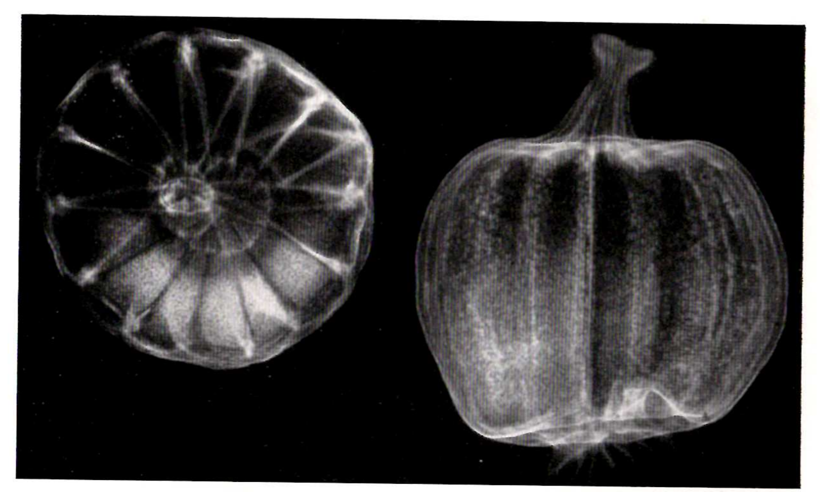
F. C. Bawden. Ilford Co.

Abb. 89. Aufnahmen eines Kartoffelblatts mit infrarotem bzw. gewöhnlichem Licht. Die schwarzen Flecke auf dem infraroten Bild zeigen, daß die Pflanze an Kartoffelpest erkrankt ist; sie sind unsichtbar auf der Photographie mit gewöhnlichem Licht



Herbert Flower. Ilford Co.

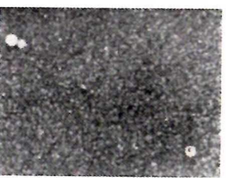
Abb. 90. Röntgenbilder von Seesternen



Herbert Flower. Ilford Co.

Abb. 91. Röntgenbilder von Mohnkapseln



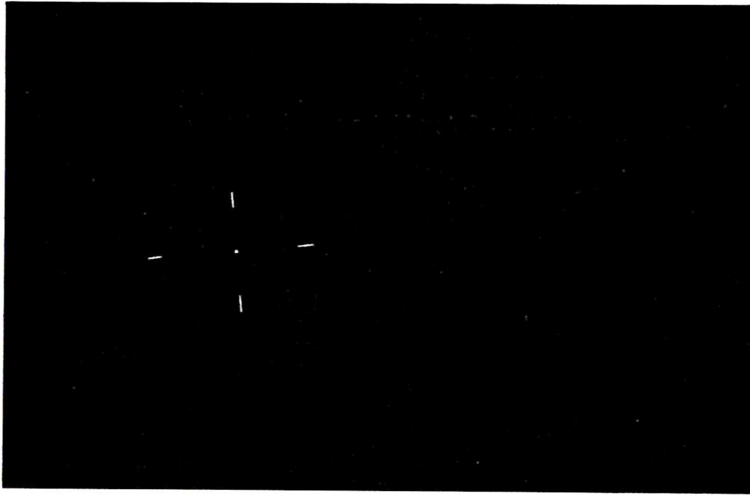




E. E. Barnard, Yerkes Sternwarte

Juli 1908 September 1915 Juli 1920

Abb. 92. Der Doppelstern Krüger 60 (in der oberen linken Ecke) im Sommer 1908, 1915 und 1920. Die beiden Komponenten führen einmal in 55 Jahren eine volle Umdrehung umeinander aus, so daß sie 1963 wieder dieselbe Stellung haben werden wie auf der Abbildung links



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 93. Ein kleiner Teil des Sternbildes Auriga. Man sieht den einzigen Stern (durch Pfeile bezeichnet), der heller ist als die neunte Größenklasse. Dies Bild ist das erste einer Serie, die auf den folgenden Tafeln XLVII und XLVIII fortgesetzt wird



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 94. Dasselbe Himmelsgebiet wie in Abb. 93. Die Aufnahme zeigt Sterne bis hinunter zur zwölften Größenklasse



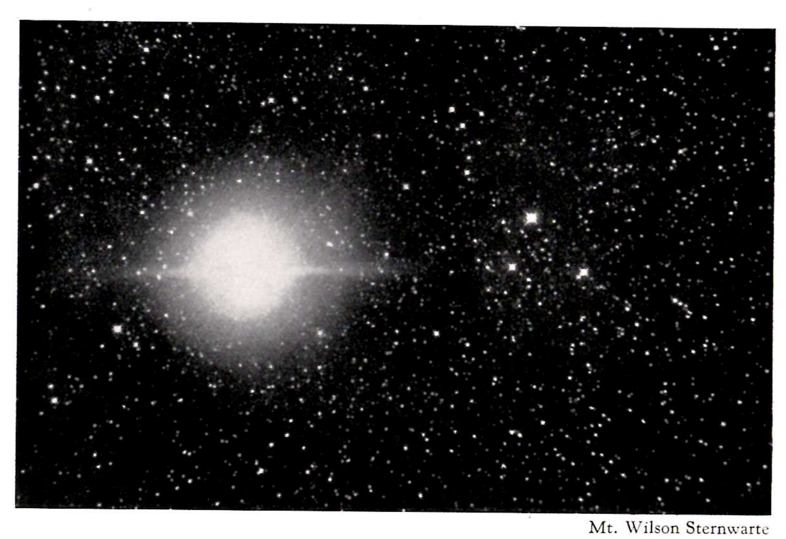
Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 95. Wiederum dasselbe Feld am Himmel. Die Aufnahme gibt alle Sterne wieder bis hinunter zur fünfzehnten Größenklasse. (Das Muster um den hellsten Stern herum rührt natürlich nur von einem Fehler in der Apparatur her.)



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 96. Noch einmal dasselbe Feld mit Sternen bis hinunter zur achtzehnten Größenklasse



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 97. Dasselbe Gebiet mit Sternen bis hinunter zur zwanzigsten Größenklasse

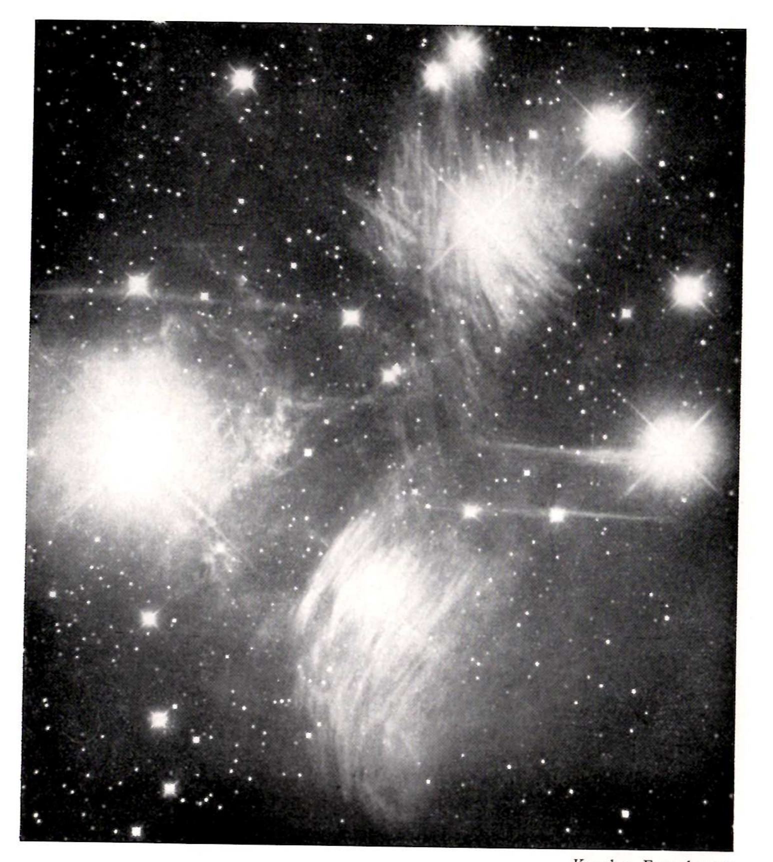






Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 98. Drei planetarische Nebel — N.G.C. 6720 (der Ringnebel in der Lyra), N.G.C. 2022 und N.G.C. 1501



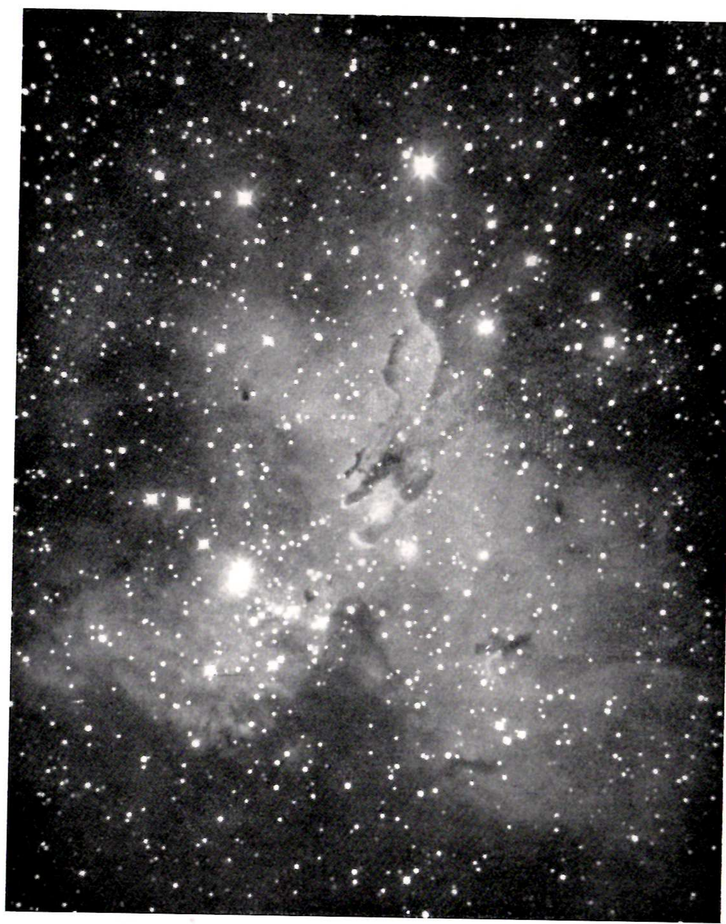
Kerolyr, Forcalquier

Abb. 99. Die Sterne der Plejaden mit den sie umgebenden Nebeln



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 100. Der Nebel, der einen einzelnen Stern im Sternbild Auriga umgibt und von ihm erleuchtet wird



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 101. Nebel im Sternbild des Schild des Sobieski



Kerolyr, Forcalquier

Abb. 102. Nebel im Sternbild des Orion. Der helle Fleck, etwa in der Mitte der Tafel, ist ζ Orionis, der südlichste der drei Sterne im Gürtel des Orion. Die Platte wurde elf Stunden exponiert; das genügt, um alle Einzelheiten in den dunklen Nebelwolken absorbierender Materie wiederzugeben



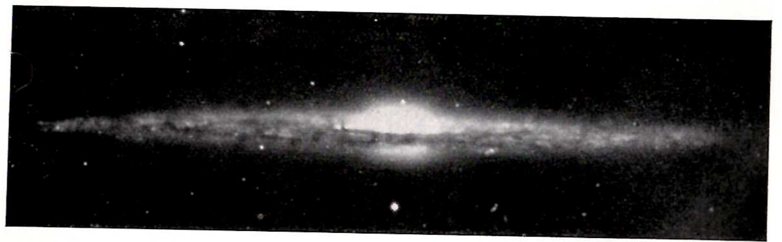
Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 103. Der Spiralnebel in den Canes Venatici



Yerkes Sternwarte

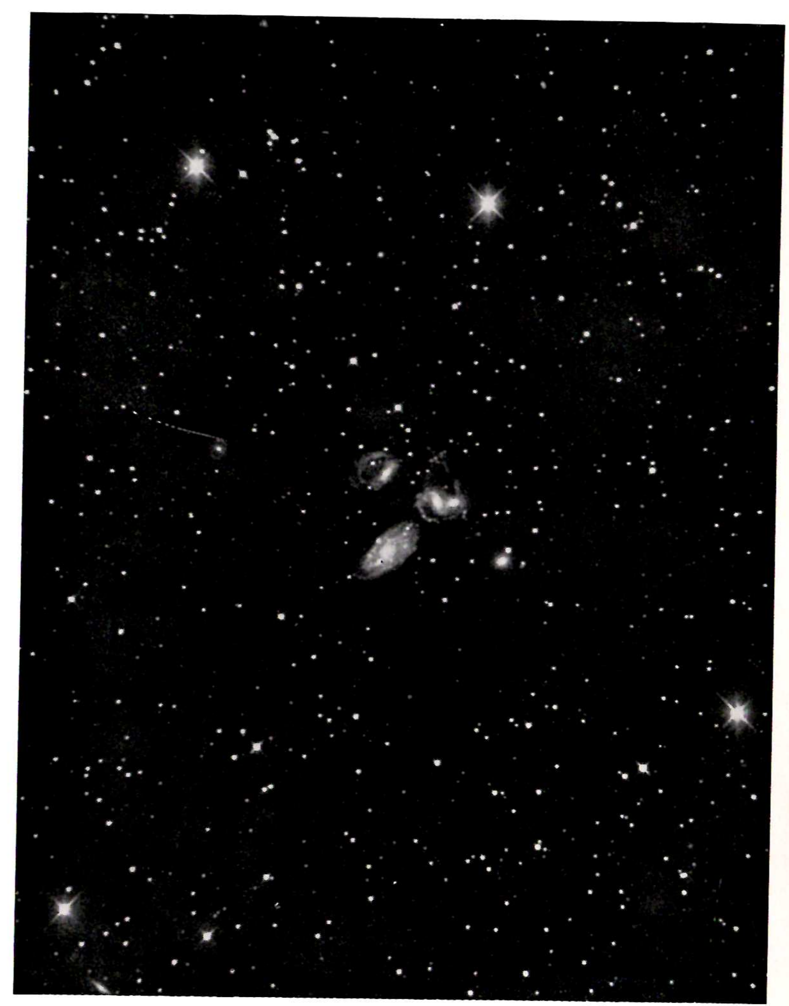
Abb. 104. Der große Nebel in der Andromeda



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 105. Ein Nebel (N.G.C. 4565) im Haar der Berenice.

Drei Nebel — alle drei von der charakteristischen Wagenradform und einander der Struktur nach wahrscheinlich ziemlich ähnlich — gesehen unter verschiedenen Winkeln



Mt. Wilson Sternwarte

Abb. 106. Eine Gruppe benachbarter Nebel im Sternbild des Pegasus. Die Nebel in der Mitte des Bildes sehen alle etwa gleich groß und gleich hell aus und sind somit alle etwa gleich weit entfernt; sie bilden eine nahe benachbarte Gruppe im Raum. Andere Nebel, die kleiner und schwächer aussehen, sind wahrscheinlich weiter entfernt und stehen also physikalisch mit der Hauptgruppe nicht in Zusammenhang